عالم المعرفة

291
مارس
2003

الكون في قشرة جوز

• شكل جديد للكون

تأليف: ستيفن هوكنج

ترجمة: د. مصطفى إبراهيم فهمي

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

الكون في قشرة جوز

291
مارس
2003

هذا الكتاب

مؤلف هذا الكتاب عالم الفيزياء النظرية ستيفن هوكنج الأستاذ بجامعة كمبردج، حيث يشغل كرسي الأستاذية نفسه الذي شغله علماء خالدون مثل نيوتن وديراك، وذلك على رغم مرضه المقعد الذي أعجزه عن الحركة والكلام، وربطه بكرسي خاص ذي عجلات، مزود بكمبيوتر يتيح له الحديث والكتابة.

والكتاب جولة شائقة ممتعة في دروب الكون و«الزمكان»، يعرض فيه هوكنج أحدث نظريات الفيزياء الكونية في محاولة للإجابة عن أسئلة محيرة حول نشأة الكون وحدوده، والسفر في الزمان، وأحدث ما ظهر من نظريات في علم الفيزياء الذي يقود التقدم العلمي كله، مثل نظرية «البرانات» والأوتار الفائقة والأبعاد المتعددة التي تزيد على الأبعاد الثلاثة المألوفة، بل وتزيد على أبعاد الكون الأربعة، كما عينها أينشتين في زمكانه، ثم النظرية الموحدة التي تفسر الكون كله وفيزياءه.

وهوكنج يكتب عن هذا كله بأسلوب متعمق بسيط، ميسر للقارئ غير المتخصص، ويبين له أن الحقائق العلمية كثيرا ما تفوق روايات الخيال العلمي غرابة وإثارة وتشويقا. والكتاب -من هذا المنطلق- لا غنى عنه لكل مثقف يود أن يفهم أسرار الكون الذي نعيش فيه، وأن يصل إليه الانفعال نفسه الذي يشعر به العلماء عندما تتكشف لهم هذه الأسرار.

ISBN 99906 - 0 - 102 - X

رقم الإيداع (٢٠٠٣/٠٠٠٠٦)

سعر النسخة

الكويت ودول الخليج	دينار كويتي
الدول العربية	ما يعادل دولارا أمريكيا
خارج الوطن العربي	أربعة دولارات أمريكية

الاشتراكات

دولة الكويت

للأفراد	15 د.ك
للمؤسسات	25 د.ك

دول الخليج

للأفراد	17 د.ك
للمؤسسات	30 د.ك

الدول العربية

للأفراد	25 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	50 دولارا أمريكيا

خارج الوطن العربي

للأفراد	50 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	100 دولار أمريكي

تسدد الاشتراكات مقدما بحوالة مصرفية باسم المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب وترسل على العنوان التالي:

السيد الأمين العام
للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
ص.ب: 28613 - الصفاة - الرمز البريدي 13147
دولة الكويت
تليفون: ٢٢٤٣١٧٠٤ (٩٦٥)
فاكس: ٢٢٤٣١٢٢٩ (٩٦٥)
الموقع على الإنترنت:
www.kuwaitculture.org.kw

ISBN 99906 - 0 - 102 - X

رقم الإيداع (٢٠٠٣/٠٠٠٠٦)

العنوان الأصلي للكتاب

The Universe In A Nutshell

by

Stephen Hawking

Bantam Books, New York (2001)

طبع من هذا الكتاب ثلاثة وأربعون ألف نسخة

مطابع السياسة - الكويت

ذو الحجة ١٤٢٣ - مارس ٢٠٠٣

المحتوى

مقدمة

مؤلف هذا الكتاب ستيفن هوكنج عالم فذ يعد من أهم المفكرين في الفيزياء النظرية، وهو في ذلك يقف في صف واحد مع أينشتين ونيوتن وجاليليو. وهو إنسان فريد في إرادته وعزيمته، فقد أصيب وهو في العشرين من عمره بمرض العصبون الحركي الذي يؤدي إلى ضمور مطرد في الأعصاب والعضلات فأصبحت كل أطرافه عاجزة عن الحركة، كما أصبح عاجزا عن الكلام بسبب بعض المضاعفات، وهكذا فإن جسده تحول إلى مخ صرف يتركز فيه نشاطه الوحيد. وهو يقول ساخرا أن من حسن حظه أن مهنته كفيزيائي نظري لا تتطلب منه إلا هذا المخ النشط. وقد جهز له كرسي متحرك خاص مزود بالكهرباء وبكمبيوتر يستخدمه في الكتابة والكلام.

أصدر هوكنج في ١٩٨٨ كتابه «تاريخ موجز للزمان»، الذي شرفت بترجمته إلى العربية، والذي ظل لسنوات عديدة على رأس قائمة أحسن الكتب مبيعا. وقد سرد فيه تاريخا موجزا لأهم علامات الطريق في علم الفيزياء مما أنجزه علماء الجاذبية مثل جاليليو ونيوتن

«إن هوكنج لديه القدرة على أن يبسط أعقد مشاكل الفيزياء بضرب أمثلة مألوفة من الحياة اليومية».

المترجم

وأينشتين وعلماء ميكانيكا الكم مثل ماكس بلانك وهايزنبرج وفينمان، ثم عرض هوكنج في كتابه أحدث أفكار الفيزياء النظرية عن نشأة الكون، مثل نظرية الانفجار الكبير والثقوب السوداء والأوتار الفائقة. ورسخ هذا الكتاب مكانة هوكنج وقيمته علميا وثقافيا، وأوضح نزعته المغامرة في أفكاره التي يعرضها بوضوح مصحوب ببعض السخرية حتى من نفسه. كما بين أسلوب الكتاب أن هوكنج لديه القدرة على أن يبسط أعقد مشاكل الفيزياء بضرب أمثلة مألوفة من الحياة اليومية.

ألف هوكنج بعدها في ٢٠٠٢ كتابه الحالي وعنوانه "الكون في قشرة جوز"، وهو بهذا العنوان لا يقصد المعنى المجازي فحسب، بأنه سيقدم الكون في كتابه في عرض ميسر حتى لغير المتخصصين وكأنه في سهولة تناول قشرة جوز، وإنما يقصد أيضا المعنى الحرفي للتشبيه، حيث إن الكون يبدأ، بالفعل، في شكل كرية مفلطحة في أجزاء منها، تشبه قشرة الجوز في حجمها وشكلها. وهو في هذا الكتاب السخي بالأفكار والصور الإيضاحية يكشف للقارئ عن المبادئ الأساسية التي تحكم الكون وما فيه من القوى الأساسية، أي القوى الكهرومغناطيسية والنووية والجذبوية، ويبين لنا أنه كثيرا ما تبدو الحقائق العلمية أكثر غرابة وتشويقا من روايات الخيال العلمي.

يتناول الكتاب أسرار أحدث الانفجارات العلمية التي تمت في الفيزياء النظرية بعد صدور كتاب هوكنج "تاريخ موجز للزمان". ويطوف بنا هوكنج في رحلة ممتعة يقوم فيها بدور الدليل، ويبدأ بتمهيد عن نظريات أوائل القرن العشرين التي مازالت لها كل الأهمية، أي نظريات النسبية الخاصة والعامة وميكانيكا الكم، ثم يصل بأسلوبه وأمثلته الشائقة إلى الجاذبية الفائقة والأبعاد المتعددة التي تزيد عن أبعاد كون الزمكان الأربعة، ثم نظريات الأوتار الفائقة ونظرية . إم، لينتهي إلى نظرية «البرانات» الحديثة، آخر ما وصلت إليه حدود العلم في تسعينيات القرن الماضي. وهي نظرية لو ثبتت صحتها لأمكن أن تحل الكثير من مشاكل النموذج الأساسي في الفيزياء، وهو نظرية الانفجار الكبير، حيث الثقوب السوداء لم تعد كاملة السواد، وإنما هي تشع وتتبخر لتتلاشى، وحيث ينشأ الكون من بذرة حجمها وشكلها كثمرة جوز.

وهوكنج، مثل الفيزيائيين النظريين من عهد أينشتين بل ومن قبله أيضا، يحلم متلهفا للوصول إلى نظرية موحدة كبرى تفسر كل الكون والفيزياء. وهو يرى أن الوصول إلى ذلك يتطلب التوحيد بين نظرية النسبية العامة ونظرية ميكانيكا الكم في نظرية موحدة تسمى الكم - جاذبية أو الجاذبية الكمية.

ولد هوكنج في ١٩٤٢ والتحق طالبا بأكسفورد ١٩٥٩ وتخرج منها ولكنه فضل أن يعمل بعد التخرج في كيمبردج. وقد بدأ ظهور أعراض مرضه المقعد في ١٩٦٢، وأخبره الأطباء عندها أنه ربما لن يعيش لأكثر من عامين، ولكنه أحب وتزوج فتاته في ١٩٦٥، وأنجب ثلاثة أطفال بين ١٩٦٧ و١٩٧٩، وله الآن أحفاد من أولاده. وقد طلق زوجته أخيرا ليتزوج من ممرضته! وعلى الرغم مما أدى إليه مرضه من عجز يزداد تدريجيا، إلا أن هذا لم يعقه عن البحث العلمي المستمر حتى أصبح أستاذا للفيزياء النظرية في كيمبردج، ليشغل كرسي الأستاذية نفسه الذي شغله علماء خالدون مثل نيوتن وديراك.

وهكذا فإن كتاب «الكون في قشرة جوز» كتاب يهم كل من يريد فهم الكون الذي نعيش فيه، وهو يتيح للقارئ غير المتخصص أن يلم بأحدث التطورات في مجال علم الفيزياء الذي يقود الآن كل التقدم العلمي في العالم. والكتاب ينقل للقارئ أيضا الإثارة والابتهاج نفسيهما اللذين يشعر بهما العلماء عندما تتكشف لهم أسرار الكون.

وأخيرا وليس آخرا أود أن أتقدم بوافر شكري وامتناني للصديق العزيز د. نبيل علي لما بذله متطوعا من جهده ووقته لحسن تنسيق الكتاب وجعل ما فيه من أشكال وصور بهذه الدرجة من الوضوح والدقة.

د. مصطفى إبراهيم فهمي

تمهيد

لم أكن أتوقع لكتابي «تاريخ موجز للزمان» الذي راج شعبيا أن ينال كل هذا النجاح. وقد ظل في قائمة أكثر الكتب مبيعا بصحيفة «صنداي تايمز» اللندنية لما يزيد عن أربعة أعوام، وهذا زمن أطول مما بقي عليه أي كتاب آخر، كما أنه زمن غير عادي لكتاب عن العلم ليس فيه ما يؤدي إلى الاسترخاء. ظل الناس بعدها يسألونني متى أؤلف كتابي التالي. وقد قاومت ذلك لأني لم أكن أود أن أكتب «ابن تاريخ موجز» ولا «تاريخ أطول هونا للزمان»، ولأني كنت مشغولا بالأبحاث. ولكني وصلت إلى إدراك أن هناك متسعا لكتاب من نوع آخر قد يكون أسهل فهما. كان كتاب «تاريخ موجز للزمان» مرتبا بأسلوب طولي، حيث معظم ما فيه من فصول يتبع الفصول السابقة ويعتمد عليها منطقيا. وإذا كان هذا قد راق لبعض القراء، إلا أن قراء آخرين توقفوا متعثرين عند الفصول الأولى، ولم يصلوا قط إلى ما تلا ذلك من مادة أكثر إثارة. أما هذا الكتاب فهو، على العكس من ذلك، أكثر شبها بالشجرة: فيشكل الفصل الأول والثاني جذع الشجرة المركزي الذي تتفرع منه الفصول الأخرى.

«إني أعتقد أنه لن يحدث قط أننا سنتوقف تماما: سوف نزداد تركيبا إن لم نزدد عمقا، وسنكون دائما محورا لأفق من الإمكانات يظل يتزايد اتساعا».

المؤلف

وهذه الفروع مستقلة إلى حد كبير أحدها عن الآخر، ويمكن تناولها بأي ترتيب بعد الجذع المركزي، وهي تقابل مجالات بحثت فيها أو فكرت في شأنها بعد نشر «تاريخ موجز للزمان». وبالتالي، فهي تمثل صورة لبعض من أنشط المجالات في الأبحاث الحالية. كما حاولت أيضا في كل فصل أن أتجنب البنية الخطية الواحدة. فهناك صور توضيحية توفر، هي وتعليقاتها، طريقا آخر بديلا للنص، كما في كتاب «تاريخ موجز مصور للزمان»، الذي نشر في ١٩٩٦، كما أن مربعات الشرح أو الهوامش الجانبية تتيح الفرصة لمزيد من التعمق في موضوعات معينة بتفصيل أكثر مما يمكن في النص الأساسي.

عندما نشر «تاريخ موجز للزمان» لأول مرة في ١٩٨٨، كان يبدو وقتها أن نظرية كل شيء النهائية تكاد تلوح لنا عند الأفق. كيف تغير الموقف من وقتها؟ وهل أصبحنا أقرب بأي مسافة من هدفنا؟ سيصف هذا الكتاب كيف تقدمنا من وقتها لمسافة طويلة. إلا أن الرحلة لا تزال تتواصل ولا تبدو نهايتها بعد للبصر. وحسب المثل القديم، فإن السفر المفعم بالأمل أفضل من الوصول. والتماسنا التوصل إلى اكتشافات يوفر لنا وقودا لإبداعنا في كل المجالات، وليس في العلم وحده. ولو وصلنا إلى نهاية الخط ستذوي الروح الإنسانية وتموت. على أني أعتقد أنه لن يحدث قط أننا سنتوقف تماما: سوف نزداد تركبا إن لم نزدد عمقا، وسنكون دائما محورا لأفق من الإمكانات يظل يتزايد اتساعا.

كم أود أن أشرك الآخرين معي في الانفعال بما يُنجَز من الاكتشافات، وبالصورة المنبثقة للحقيقة. لقد ركزت على المجالات التي بحثت فيها بنفسي، حيث يتوفر لي إحساس أكبر بالممارسة المباشرة. وإذا كانت تفاصيل هذا البحث تتسم بأنها تقنية جدا، إلا أني أعتقد أن من الممكن نقل الأفكار العريضة دون أن يكون معها حمل كبير من الرياضيات. وكل ما آمله أن أنجح في ذلك.

نلت عون الكثيرين في هذا الكتاب. وأود أن أذكر بالذات توماس هيرتوج، ونيل شيرر لمساعدتهما في الأشكال والتعليقات ومربعات الشرح، وآن هاريس وكيني فيرجسون، حيث حررتا المخطوطة (أو ملفات

الكمبيوتر إذا شئنا المزيد من الدقة، لأن كل ما أكتبه إلكتروني)، وفيليب دن من هيئة معمل وتصميمات مونراز للكتاب، فهو الذي أبدع الصور التوضيحية. على أني أود بعد ذلك أن أشكر كل من أتاحوا لي أن أمارس حياة طبيعية إلى حد كبير (*) وأن أواصل البحث العلمي. ومن غير هؤلاء ما كان لهذا الكتاب أن يكتب.

ستيفن هوكنج

كيمبردج - ٢ مايو ٢٠٠١

(*) يشر المؤلف هنا إلى أنه رغم مرضه الذي يقعده مازال يمارس البحث العلمي والتأليف (المترجم).

١

تاريخ موجز للنسبية

كيف وضع أينشتين أسس النظريتين الأساسيتين للقرن العشرين: النسبية العامة ونظرية الكم.

ولد ألبرت أينشتين، مكتشف نظريتي النسبية الخاصة والعامة، في أولم بألمانيا سنة ١٨٧٩، ولكن عائلته انتقلت في العام التالي إلى ميونيخ، حيث أسس أبوه هيومان وعمه جاكوب منشأة أعمال كهربائية صغيرة وليست ناجحة جدا. ولم يكن ألبرت بالطفل المعجزة، على أنه يبدو أن المزاعم بأنه كان خائبا في مدرسته تتسم بالمبالغة.

في ١٨٩٤ أفلست منشأة الأعمال التي أقامها والده وانتقلت العائلة إلى ميلانو. وقرر والداه أنه ينبغي أن يتخلف في ميونيخ لينهي مدرسته، ولكنه لم يكن يحب ما فيها من نزعة للتسلط، وسافر بعد شهور ليلحق بعائلته في إيطاليا. وأكمل تعليمه فيما بعد في زيوريخ، وتخرج من معهد متميز فيها هو مدرسة البوليتكنيك الفيدرالية في ١٩٠٠. وأدت به طبيعته من الولع بالجدل والنفور من السلطة، إلى أن صار غير محبب للأساتذة في مدرسة البوليتكنيك الفيدرالية، فلم يعرض عليه أي واحد منهم وظيفة مساعد له، وهي الطريق الطبيعي للمستقبل المهني الأكاديمي. وتمكن أخيرا بعد مرور

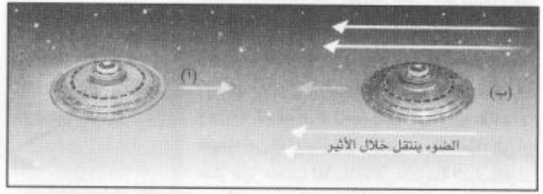
«تعمل السياسة من أجل اللحظة الراهنة، أما المعادلات فهي للخلود»

ألبرت أينشتين

عامين من أن يحصل على وظيفة صغيرة في المكتب السويسري لبراءات الاختراع في برن. وكتب إبان عمله في هذه الوظيفة في ١٩٠٥ ثلاث أوراق بحث علمية أرست وضعه كواحد من قادة العلم في العالم، وكانت في هذه الأوراق أيضا البداية لثورتين فكريتين ـ ثورتين غيرتا فهمنا للزمان والمكان والحقيقة نفسها.

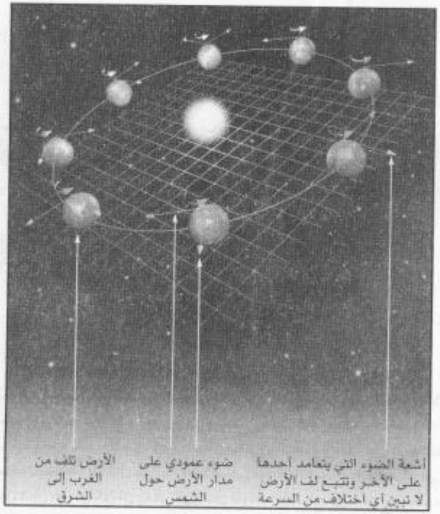
اعتقد العلماء قرب نهاية القرن التاسع عشر أنهم قريبون قربا وثيقا من الوصول إلى توصيف كامل للكون. فتخيلوا أن الفضاء مملوء بوسط متصل يسمى «الأثير». وأشعة الضوء وإشارات الراديو إنما هي موجات في هذا الأثير، بما يماثل تماما أن الصوت هو موجات ضغط في الهواء. وكل ما كان العلماء يحتاجون إليه لصنع النظرية الكاملة هو القياسات الدقيقة للخواص المرنة للأثير. والحقيقة أنه في توقع للوصول إلى هذه القياسات، أنشئ معمل جيفرسون في جامعة هارفارد بحيث يخلو تماما من أي مسامير معدنية حتى لا تتدخل في القياسات المغناطيسية الرهيفة. على أن واضعي التصميم نسوا أن قوالب الطوب البني المحمر، التي بني بها المعمل هو ومعظم جامعة هارفارد، تحوي كميات كبيرة من الحديد. مازال هذا المبنى يستخدم حتى الآن كمكتبة، وإن كانت جامعة هارفارد مازالت غير واثقة من مقدار الثقل الذي يمكن أن تحمله أرضية مكتبة ليس فيها مسامير حديدية.

بحلول نهاية القرن بدأت تظهر التناقضات الموجودة في فكرة الأثير الذي ينتشر في كل مكان. فقد كان من المتوقع حسب هذه الفكرة أن يتحرك الضوء بسرعة ثابتة، خلال الأثير، على أنه إذا كان المرء يتحرك من خلال الأثير في الاتجاه نفسه للضوء، فستبدو سرعة الضوء أبطأ، وإذا كان المرء يتحرك في الاتجاه المضاد للضوء، فستبدو سرعة الضوء أكبر (الشكل ١ ـ ١).



الشكل (١.١) (نظرية الأثير الثابت)

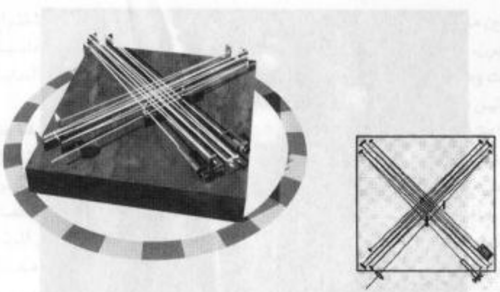
إذا كان الضوء موجة في مادة مرنة تسمى الأثير، ينبغي أن تظهر سرعة الضوء بمعدل أكبر بالنسبة لفرد فوق سفينة الفضاء (أ) التي تتحرك متجهة للضوء، وبمعدل أبطأ لفرد فوق سفينة الفضاء (ب) التي تتحرك في الاتجاه نفسه للضوء.



الشكل (٢.١)

لا يوجد أي اختلاف بين سرعة الضوء وهو في اتجاه مدار الأرض، وسرعته وهو في اتجاه عمودي على المدار.

إلا أنه أجريت سلسلة من التجارب فشلت كلها في دعم هذه الفكرة. وكانت أكثر هذه التجارب دقة وضبطا التجربة التي أجراها ألبرت ميكلسون وإدوارد مورلي في مدرسة كيس للعلم التطبيقي في كليفلاند بولاية أوهايو في ١٨٨٧. قارن العالمان سرعة الضوء في شعاعين كل منهما متعامد على الآخر. وهكذا فعندما تلف الأرض حول محورها وتدور حول الشمس، فإن جهاز التجربة سيتحرك خلال الأثير بسرعة واتجاه مختلفين. (الشكل ٢ ـ ١). على أن ميكلسون ومورلي لم يجدا أي فروق يومية أو سنوية بين شعاعي الضوء. وبدا الضوء وكأنه يتحرك دائما بالسرعة نفسها بالنسبة للمكان الذي يكون المرء فيه بصرف النظر عن مدى سرعة حركة المرء وما يكونه اتجاهها (الشكل ٣ ـ ١).



الشكل (٣-١)
قياس سرعة الضوء

في تجربة بجهاز ميكلسون - مورلي لقياس التداخل، يشطر الضوء الآتي من أحد المصادر إلى شعاعين باستخدام مرآة نصف مفضضة. ويتحرك شعاعا الضوء وأحدهما متعامد على الآخر. ثم يضمان معا في شعاع واحد، بأن يرتطما ثانية بالمرآة نصف المفضضة. إذا كان هناك اختلاف في سرعة الضوء وهو يتحرك في هذين الاتجاهين فإن هذا يمكن أن يعني أن تصل ذروات الأمواج من أحد الشعاعين في الوقت نفسه مع قرارات الأمواج من الشعاع الآخر فتلغيها.

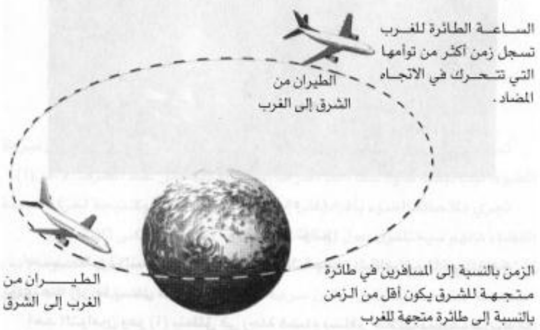
هذا الشكل التوضيحي أعيد بناؤه حسب ما ظهر في مجلة «سيانتفيك أميركان»، ١٨٨٧.

بناء على تجربة ميكلسون - مورلي، طرح الفيزيائي الأيرلندي جورج فيتزجيرالد والفيزيائي الهولندي هندريك لورنتز أن الأجسام عندما تتحرك خلال الأثير ستنكمش، وأن الساعات ستبطئ. وسيكون هذا الانكماش وهذا الإبطاء في الساعات بحيث يقيس كل الأفراد السرعة نفسها للضوء، بصرف النظر عن طريقة تحركهم بالنسبة للأثير. (كان فيتزجيرالد ولورنتز ما زالا يعتبران أن الأثير مادة حقيقية). على أن أينشتين كتب ورقة بحث علمي في يونيو ١٩٠٥ وضح فيها أنه إذا كان المرء لا يستطيع أن يكتشف ما إذا كان يتحرك أو لا يتحرك في الفضاء، فإن فكرة الأثير تصبح حشوا لا حاجة إليه. وبدأ بدلا من ذلك بافتراض أن قوانين العلم ينبغي أن تبدو متماثلة لكل

الملاحظين الذين يتحركون بحرية. وينبغي على وجه الخصوص أن يقيسوا جميعا السرعة نفسها للضوء، بصرف النظر عن سرعة تحركهم هم. فسرعة الضوء مستقلة عن حركتهم وتكون متماثلة في كل الاتجاهات.

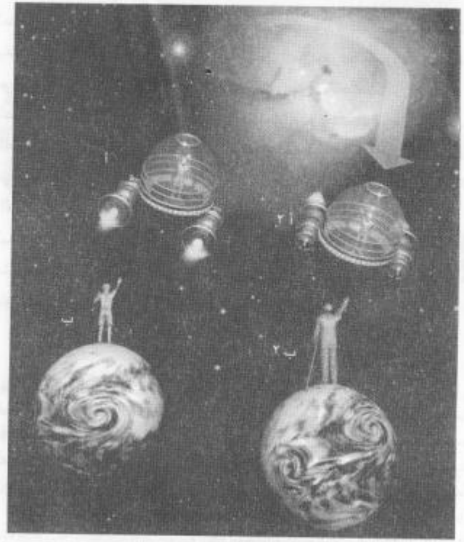
تطلب ذلك نبذ فكرة أن هناك قيمة مطلقة تسمى الزمن تقيسها كل الساعات. وبدلا من ذلك فإن كل فرد يكون لديه زمنه الشخصي. وسوف يتفق الزمن لدى فردين إذا كان هذان الفردان في وضع السكون أحدهما بالنسبة إلى الآخر. ولكن الزمن لن يتفق إذا كانا يتحركان.

ثبت ذلك عن طريق تجارب عديدة، بما في ذلك تجربة طيرت فيها ساعتان دقيقتان في اتجاهين متضادين حول العالم، وعندما أعيدتا أظهرتا توقيتين يختلفان اختلافا صغيرا جدا (الشكل ٤ - ١).



الشكل (٤-١)

هذه نسخة أخرى من مفارقة التوائم (الشكل ٥ - ١) اختُبرت تجريبيا بأن طير العلماء ساعتين دقيقتين حول العالم في اتجاهين متضادين. وعندما التقت الساعتان مرة أخرى سجلت الساعة التي طارت متجهة إلى الشرق زمنا أقل هونا.



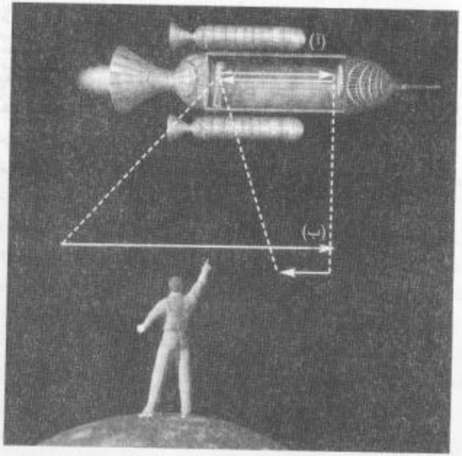
الشكل (١ - ٥)

(مفارقة التوائم)

حسب نظرية النسبية يكون لكل ملاحظ قياسه الخاص به للزمن. ويمكن أن يؤدي هذا إلى ما يسمى مفارقة التوائم.

أحد التوأمين وهو (أ) ينطلق في رحلة فضاء يسافر خلالها بسرعة قريبة من سرعة الضوء (ج) بينما يظل أخوه (ب) على الأرض.

ينتج عن حركة (أ) أن ينساب الزمن ببطء أكثر في سفينة الفضاء كما يرى التوأم الباقي فوق الأرض. وبالتالي فعند عودة مسافر الفضاء (أ ٢) سيجد أن شقيقه (ب٢) قد أصبح أكبر سنا منه هو. وعلى الرغم من أن هذا يبدو ضد الحس المشترك، إلا أن هناك تجارب عديدة تدل على أنه في هذا السيناريو سيكون التوأم المسافر أصغر حقا في السن.



الشكل (١ - ٦)

تمر سفينة فضاء عبر الأرض من اليسار إلى اليمن بسرعة أربعة أخماس سرعة الضوء. تبث نبضة ضوء عند أحد أطراف المقصورة وتنعكس عند الطرف الآخر (أ). تجري ملاحظة الضوء بأفراد على الأرض وعلى السفينة. وكنتيجة لحركة سفينة الفضاء فإنهم سيختلفون حول المسافة التي قطعها الضوء لينعكس ثانية (ب). وبالتالي فإنهم لابد أيضا أن يختلفوا حول الوقت الذي استغرقه الضوء، لأنه، حسب ما افترضه أينشتين. تكون سرعة الضوء متماثلة بالنسبة لكل الملاحظين الذين يتحركون بحرية.

وربما يطرح هذا أنه لو أراد المرء أن يعيش لزمن أطول، فإنه ينبغي أن يواصل الطيران شرقا، بحيث تنضاف سرعة الطائرة إلى لف الأرض. على أنه إذا كان المرء سيكتسب هكذا كسرا ضئيلا من الثانية فإنه سيخسر ما هو أكثر كثيرا عندما يضطر إلى تناول وجبات خطوط الطيران.

افترض أينشتين أن قوانين الطبيعة ينبغي أن تبدو متماثلة لكل الملاحظين الذين يتحركون بحرية، وهذا الافتراض هو الأساس من نظرية النسبية، والتي سميت هكذا لأنها تتضمن أن الحركة النسبية هي وحدها المهمة. أدى جمال هذا الفرض وبساطته إلى أن يقتنع به كثير من المفكرين، إلا أنه بقيت هناك معارضة كثيرة، فأينشتين قد دمر هكذا مطلقين اثنين من مطلقات علم القرن التاسع عشر: السكون المطلق كما يمثله الأثير، والزمان المطلق أو الكلي الذي تقيسه الساعات كلها. وجد أفراد كثيرون أن هذا مفهوم يثير الانزعاج. وتساءلوا: هل يتضمن هذا أن «كل شيء» نسبي، وأنه لا توجد قيم أخلاقية مطلقة؟ استمر هذا الشعور بعدم الارتياح طيلة عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين. وعندما منح أينشتين جائزة نوبل ١٩٢١، كان العمل الذي نوه به هو بحثا مهما أجراه أيضا في ١٩٠٥ وإن كان (بمقاييسه هو) بحثا صغيرا نسبيا. ولم يرد في التنويه أي ذكر للنسبية التي كانت تعد خلافية جدا. (مازلت أتلقى أسبوعيا خطابين أو ثلاثة تقول لي إن أينشتين كان مخطئا). على أي حال فإن نظرية النسبية مقبولة الآن بالكامل من المجتمع العلمي، كما تحققت تنبؤاتها في تطبيقات لا حصر لها.

إحدى النتائج المهمة جدا للنسبية هي العلاقة بين الكتلة والطاقة. وعندما افترض أينشتين أن سرعة الضوء ينبغي أن تبدو متماثلة لكل فرد، فقد تضمن هذا أنه لا يمكن أن يتحرك أي شيء بأسرع من الضوء. وعندما يستخدم المرء الطاقة ليسرِّع من حركة أي شيء، سواء كان جسيما أو سفينة فضاء، فإن ما يحدث عندها هو أن كتلة هذا الشيء تزيد، بما يجعل من الأصعب زيادة تسارعه لأكثر من ذلك. وسيكون من المستحيل تعجيل سرعة جسيم إلى سرعة الضوء، لأن هذا سيتطلب كمية لا متناهية من الطاقة. فالكتلة والطاقة متكافئتان كما تلخص ذلك معادلة أينشتين المشهورة، الطاقة = الكتلة × مربع السرعة (ط = ك س٢، $E = mc^2$). وهذه، فيما يحتمل، المعادلة الوحيدة في الفيزياء التي أقرها الناس في الشارع. وكان من بين نتائجها إدراك أنه إذا انشطرت نواة ذرة يورانيوم إلى نواتين لهما كتلة إجمالية أقل هونا، فإن هذا سيطلق كمية هائلة من الطاقة (الشكل ٧ـ ١).

عندما لاح في الأفق في ١٩٣٩ أن هناك توقعا لنشوب حرب عالمية أخرى، عمل جماعة من العلماء الذين أدركوا هذه التضمينات في معادلة أينشتين على حثه على التغلب على ما لديه من وساوس سلمية وأن يضيف تأثيره النافذ إلى خطاب موجه للرئيس روزفلت لحض الولايات المتحدة على بدء برنامج للأبحاث النووية.

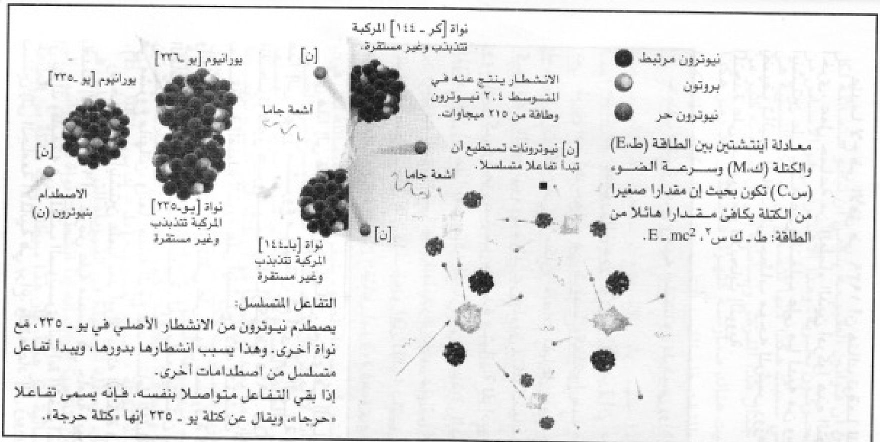
خطاب التنبؤ الذي وجهه أينتشتين للرئيس روزفلت في ١٩٣٩.

«حدث في غضون الشهور الأربعة الأخيرة أن أصبح من المحتمل ـ عن طريق أبحاث جوليو في فرنسا وكذلك أيضا فيرمي وزيلارد في أمريكا ـ أن يكون في الإمكان إحداث تفاعل نووي متسلسل في كتلة كبيرة من اليورانيوم، ليتولد عن طريق ذلك كميات هائلة من الطاقة ومقادير كبيرة من عناصر جديدة مشابهة للراديوم. ويبدو من شبه المؤكد الآن أن هذا أمر يمكن إنجازه في المستقبل العاجل.

وسوف تؤدي أيضا هذه الظاهرة الجديدة إلى إنشاء قنابل، ومما يقبل التصور ـ وإن كان ذلك نحو أقل تأكدا بكثير ـ أنه ربما يمكن ـ هكذا ـ إنشاء نوع جديد من القنابل لها قوة قصوى».

أدى هذا إلى ظهور مشروع مانهاتن، ثم أدى في النهاية إلى القنبلتين أدى هذا إلى ظهور مشروع مانهاتن، ثم أدى في النهاية إلى القنبلتين اللتين انفجرتا فوق هيروشيما وناجازاكي في ١٩٤٥. هذا ويلقي بعض الناس بمسؤولية القنبلة الذرية على أينشتين لأنه اكتشف العلاقة بين الكتلة والطاقة، إلا أن هذا يشبه أن تلقى على نيوتن المسؤولية كسبب في اصطدام الطائرات لأنه قد اكتشف الجاذبية. لم يساهم أينشتين بنفسه أي مساهمة في مشروع مانهاتن، وإنما أصابه الروع عند إسقاط القنبلة الذرية.

رسخت شهرة أينشتين علميا بعد أوراق بحثه المبتكرة في ١٩٠٥. إلا أنه لم يحدث إلا في ١٩٠٩ أن عرض عليه منصب في جامعة زيوريخ جعل في إمكانه أن يترك وظيفته في المكتب السويسري لبراءة الاختراعات. وانتقل بعدها بسنتين إلى الجامعة الألمانية في براغ، ولكنه عاد إلى زيوريخ في ١٩١٢، حيث



الشكل (١.٧)
(طاقة الربط النووي)

تتشكل النواة من بروتونات ونيوترونات ممسوكة بالقوة النووية القوية. ولكن كتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع الكتل المنفردة للبروتونات والنيوترونات التي تشكلها. والفارق هو قياس لطاقة الربط النووي تربط مكونات النواة معا. ويمكن حساب طاقة الربط هذه من علاقة أينشتين:

الربط النووي = Δmc^2 حيث Δm هي الفارق بين كتلة النواة ومجموع الكتل المنفردة.

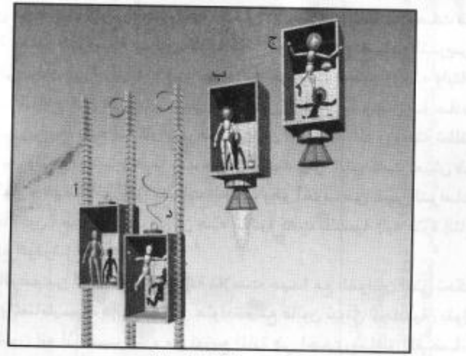
إطلاق هذه الطاقة الكامنة هو الذي يخلق القوة المدمرة المتفجرة لجهاز نووي.

عاد هذه المرة إلى مدرسة البوليتكنيك الفيدرالية. وعلى الرغم من أن العداء للسامية كان يشيع في أنحاء كثيرة من أوروبا، حتى في الجامعات، إلا أن أينشتين كان قد أصبح وقتذاك أستاذا تتنافس عليه المعاهد. فأتت إليه العروض من فيينا وأوتريخت، ولكنه اختار أن يقبل وظيفة للأبحاث في أكاديمية العلوم البروسية ببرلين، لأنها كانت تعفيه من واجبات التدريس. وانتقل إلى برلين في أبريل ١٩١٤، وانضم إليه بعد وقت قصير زوجته وابناه. إلا أن هذا الزواج كان في حال سيئ منذ بعض الوقت، وسرعان ما عادت عائلته إلى زيوريخ. ومع أنه كان يزورهم من حين لآخر، إلا أنه وزوجته تطلقا في النهاية. وتزوج أينشتين فيما بعد من ابنة عمه إيلزا التي كانت تعيش في برلين. ولعل حقيقة أنه أنفق سنوات الحرب وهو أعزب من غير التزامات عائلية قد تكون أحد الأسباب في أن هذه الفترة كانت بالنسبة إليه فترة إنتاج علمي بالغ الوفرة.

على الرغم من أن نظرية النسبية تلاءمت جيدا مع القوانين التي تحكم الكهرباء والمغناطيسية، فإنها لم تكن متوافقة مع قانون نيوتن للجاذبية. يقول هذا القانون إنه إذا غير المرء من توزيع المادة في إحدى مناطق الفضاء، سيحدث توا تغير محسوس في المجال الجذبوي في كل مكان آخر في الكون. ولن يقتصر معنى ذلك على أن المرء يستطيع إرسال إشارات أسرع من الضوء (الأمر الذي تحظره النسبية)؛ فحتى نعرف ماذا تعني كلمة «توا» سيتطلب الأمر أيضا وجود زمان مطلق أو كلي، الأمر الذي قضت عليه النسبية لمصلحة الزمان الشخصي.

تنبه أينشتين إلى هذه العقبة في ١٩٠٧، وهو مازال في مكتب براءات الاختراع في برن، ولكنه لم يبدأ في التفكير جديا في هذه المشكلة إلا وهو في براغ ١٩١١. وأدرك أن هناك علاقة وثيقة بين عجلة التسارع والمجال الجذبوي. عندما يكون أحدهم داخل صندوق مغلق، كالمصعد مثلا، فإنه لا يستطيع أن يعرف إن كان الصندوق ساكنا في مجال الأرض الجذبوي، أو أنه يتسارع بفعل صاروخ في الفضاء الحر. (كان هذا بالطبع قبل عصر «ستار تريك»، وبالتالي فقد فكر أينشتين في أفراد داخل المصاعد بدلا من سفن الفضاء). ولكن المرء لا يستطيع أن يتسارع أو يسقط بحرية لمسافة كبيرة جدا وهو في مصعد قبل أن تحل به كارثة (الشكل ٨ ـ ١). وكما يبدو فإن هذا التكافؤ بين التسارع والجاذبية

لا يصلح مع كروية الأرض، ذلك أن الأفراد الذين على جانبين متقابلين من العالم سيتسارعون هكذا في اتجاهين متضادين، ولكنهم مع ذلك يبقون على مسافة ثابتة أحدهما من الآخر (الشكل ١٠ - ١).

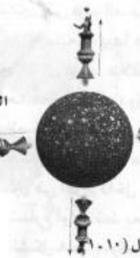


الشكل (٨ - ١)

عندما يكون ملاحظ في صندوق مصعد فإنه لا يستطيع أن يعرف الفارق بين كونه في مصعد ساكن فوق الأرض (أ)، وبين تسارعه بصاروخ في الفضاء الحر (ب). وإذا أوقف محرك الصاروخ (ج) سوف يحس كأن المصعد يسقط سقوطا حرا إلى قاع ممره الرأسي (مَنُوره).



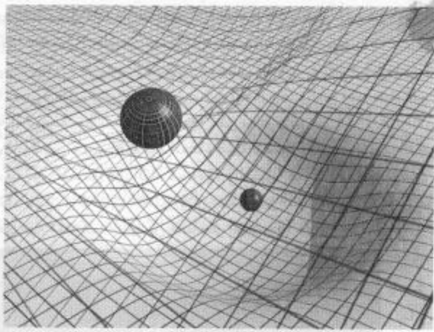
الشكل (٩ - ١)



الشكل (١٠ - ١)

الشكل (٩ - ١) لو كانت الأرض مسطحة فإن المرء عندها يستطيع أن يقول إما أن التفاحة سقطت على رأس نيوتن بسبب الجاذبية، وإما أن الأرض ونيوتن يتسارعان لأعلى. ولا يصلح هذا التكافؤ بالنسبة إلى الأرض الكروية (الشكل ١٠ - ١) لأننا سنجد عندها أن الأفراد الذين على جانبين متقابلين من الأرض سيبتعد أحدهما عن الآخر. تغلب أينتشين على هذه المشكلة بأن جعل الزمان والمكان منحنيين.

إلا أن أينشتين عند عودته إلى زيوريخ في ١٩١٢، ومضت في ذهنه فكرة نيرة بأن هذا التكافؤ سيكون صالحا للعمل به إذا كانت هندسة المكان - الزمان (الزمكان) منحنية وليست مسطحة، كما كان يفترض حتى وقتذاك. وكانت فكرته هي أن الكتلة والطاقة ستسببان انحناء الزمكان بطريقة ما لم تتحدد بعد. والأجرام مثل التفاحة والكواكب ستحاول أن تتحرك خلال الزمكان في خطوط مستقيمة، ولكن مساراتها ستبدو منحنية بوساطة المجال الجذبوي لأن المكان - الزمان محني (الشكل ١١ - ١).



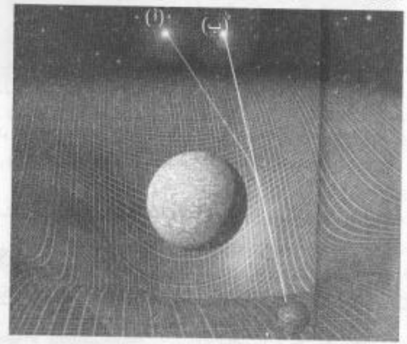
(الشكل ١١ - ١)

لا يمكن أن يتكافأ التسارع والجاذبية إلا إذا سبب جرم ضخم انحناء المكان - الزمان، ويؤدي ذلك بالتالي إلى انحناء مسار الأجرام في جيرته.

درس أينشتين بمساعدة من صديقه مارسيل جروسمان نظرية انحناء المكان والأسطح التي كان قد أنشأها جورج فريدريك ريمان في وقت سابق. إلا أن ريمان فكر فقط في انحناء المكان. وما كان لأحد أن يدرك أن ما ينحني هو المكان - الزمان إلا أينشتين. كتب أينشتين وجروسمان ورقة مشتركة في ١٩١٣ طرحا فيها فكرة أن ما نعتقد أنها قوى جذبوية هي فحسب تعبير عن حقيقة أن الزمكان محني. على أنه حدث بسبب خطأ من أينشتين (وهو تماما إنسان وغير معصوم)، أنهما لم يتمكنا من العثور على المعادلات التي توجد علاقة بين انحناء المكان - الزمان وما فيه من كتلة وطاقة. واصل أينشتين العمل على هذه المشكلة في برلين، وهو غير

مشغول بمسائل عائلية. كما أنه إلى حد كبير غير متأثر بالحرب، حتى وجد في النهاية المعادلات المناسبة في نوفمبر ١٩١٥. وكان قد ناقش أفكاره مع الرياضي دافيد هيلبرت في أثناء زيارته لجامعة جوتنجن في صيف ١٩١٥، وكان هيلبرت قد وجد - مستقلا - المعادلات نفسها قبل أينشتين بأيام معدودة. ومع ذلك، وكما أقر هيلبرت نفسه، فإن الفضل في النظرية الجديدة إنما يرجع إلى أينشتين. ذلك أن فكرة وجود علاقة بين الجاذبية وانحناء الزمكان هي فكرته هو. وهذا مدعاة للإعجاب بحالة التحضر في ألمانيا في تلك الفترة، حيث أمكن لهذه المناقشات العلمية وهذا التبادل للأفكار العلمية أن يستمرا بلا معوق حتى في زمن الحرب، والأمر هكذا فيه تباين حاد مع عهد النازي بعدها بعشرين سنة.

سميت النظرية الجديدة لانحناء الزمكان النسبية العامة لتمييزها عن النظرية الأصلية التي ليس فيها شيء عن الجاذبية، والتي أصبحت تعرف الآن بالنسبية الخاصة. وقد ثبتت النظرية على نحو رائع في ١٩١٩ عندما رصدت بعثة بريطانية في غرب أفريقيا انحناء هينا للضوء الآتي من أحد النجوم وهو يمر بالقرب من الشمس في أثناء كسوفها (الشكل١٢-١). فها هنا برهان مباشر على انحناء المكان والزمان، الأمر الذي حفز إلى أكبر تغير في إدراكنا للكون الذي نعيش فيه منذ كتب إقليدس «عناصر الهندسة» حوالى ٣٠٠ ق.م.



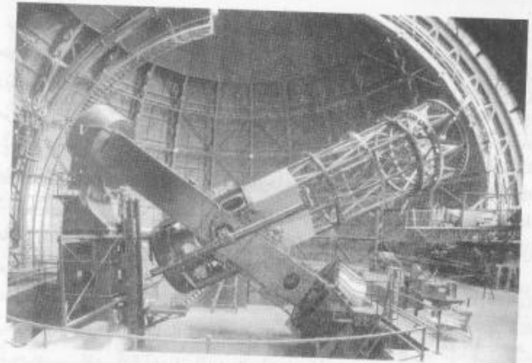
الشكل (١٢-١)

يمر الضوء الآتي من أحد النجوم بالقرب من الشمس فينحرف بالطريقة التي تحني بها كتلة الشمس الزمكان (أ)، وينتج عن ذلك زحزحة هينة للوضع الظاهري للنجم كما يرى من الأرض (ب). ويمكن رصد ذلك في أثناء كسوف الشمس.

أدت نظرية أينشتين للنسبية العامة إلى أن حولت المكان والزمان من خلفية سلبية تقع فيها الأحداث إلى مساهمين نشطين في ديناميات الكون. وأدى هذا إلى مشكلة هائلة ظلت باقية في المقدمة من علم الفيزياء في القرن الحادي والعشرين. فالكون مملوء بالمادة، والمادة تحني الزمكان بطريقة تجعل الأجسام تتهاوى معا. ووجد أينشتين أن معادلاته لا يوجد فيها حل يوصف كونا ساكنا (ستاتيكيا)، لا يتغير بالزمان (*). وبدلا من أن يتخلى عن كون يبقى دائما على هذه الحال، كما كان يعتقد هو ومعظم الآخرين، فإنه لفق في معادلاته بأن أضاف حدا سماه «الثابت الكوني»، يؤدي إلى انحناء المكان بالمعنى المضاد، بحيث تتحرك الأجسام متباعدة. ويستطيع هذا التأثير التنافري للثابت الكوني أن يوازن التأثير التجاذبي للمادة. وبالتالي فإن هذا يتيح حلا ستاتيكيا للكون. كانت هذه واحدة من أكبر الفرص الضائعة في الفيزياء النظرية. فلو أن أينشتين تمسك بمعادلاته الأصلية، لأمكنه أن يتنبأ بأن الكون يجب أن يكون إما متمددا أو منكمشا. أما ما حدث في الواقع، فهو أن النظرية القائلة بإمكان أن يكون الكون معتمدا على الزمان لم تؤخذ مأخذا جديا حتى أجريت الأرصاد في عشرينيات القرن العشرين بتليسكوب المائة بوصة في مرصد مونت ويلسون (الشكل ١٣- ١).

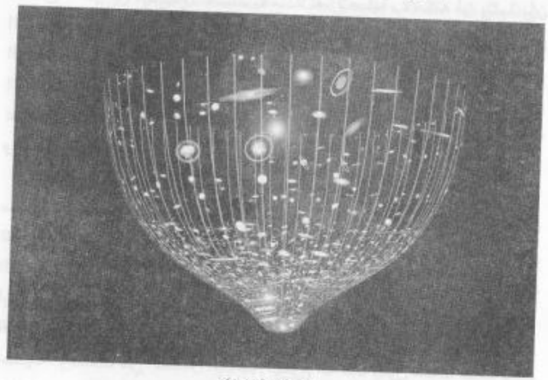
كشفت هذه الأرصاد عن أنه كلما زاد بعد المجرات الأخرى عنا، زادت سرعة حركتها متباعدة. فالكون يتمدد بحيث إن المسافة بين أي مجرتين تتزايد بالزمن زيادة مطردة (الشكل ١٤- ١). أدى هذا الاكتشاف إلى زوال الحاجة إلى ثابت كوني حتى يعطينا حلا استاتيكيا للكون. وقد قال أينشتين فيما بعد إن الثابت الكوني هو أكبر خطأ في حياته. على أنه يبدو الآن أن هذا الثابت قد لا يكون خطأ، على رغم كل ذلك: فثمة أرصاد حديثة، وصفت في الفصل الثالث، تطرح أنه قد يكون هناك حقا ثابت كوني صغير.

(*) كان السائد وقتها بين العلماء بمن فيهم أينشتين، أن الكون ثابت لا يتقلص ولا يتمدد (المترجم).



الشكل (١٣ - ١)

تليسكوب هوكر ذو المائة بوصة في مرصد مونت ويلسون



الشكل (١٤-١)

تدل أرصاد المجرات على أن الكون يتمدد؛ وغالبا ما يحدث أن تتزايد المسافة بين أي مجرتين اثنتين.

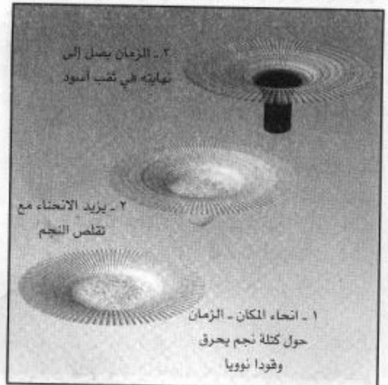
غيرت النسبية العامة تماما من النقاش حول أصل ومصير الكون. فلو كان الكون ثابتا لأمكن أن يكون موجودا منذ الأبد أو لأمكن أن يكون قد تم تكوينه بشكله الحالي عند وقت ما من الماضي. ولكن إذا كانت المجرات تتحرك الآن متباعدة، فإن هذا يعني أنها كانت، ولابد، في الماضي أكثر تقاربا معا. وهكذا فإن المجرات منذ ما يقرب من خمسة عشر بليون عام ستكون كلها معا إحداها فوق الأخرى وتكون الكثافة عندها كبيرة جدا. سميت هذه الحالة «بالذرة البدائية» وذلك بواسطة القس الكاثوليكي جورج ليميتر، الذي كان أول من بحث أصل الكون الذي نسميه نحن الآن الانفجار الكبير.

يبدو أن أينشتين لم يأخذ مطلقا الانفجار الكبير مأخذا جديا. ومن الواضح أنه كان يعتقد أن النموذج البسيط لكون يتمدد باتساق سوف ينهار إذا تابع المرء حركات المجرات وراءً في الزمان، وأن السرعات الجانبية الصغيرة للمجرات ستؤدي إلى أن تتفادى إحداها الأخرى. وكان يعتقد أن الكون ربما مر في طور سابق من الانكماش، مع ارتداد إلى حالة تمدده الحالي عند كثافة معتدلة إلى حد ما. على أننا نعرف الآن أنه حتى ينتج عن التفاعلات النووية في الكون المبكر تلك الكميات من العناصر الخفيفة التي نرصدها الآن فيما حولنا، فإنه لابد من أن الكثافة كانت على الأقل عشرة أطنان لكل بوصة مكعبة وأن الحرارة كانت عشرة بلايين درجة. وبالإضافة لذلك، فإن أرصاد الخلفية الميكروويفية تدل على أن الكثافة كانت ذات مرة فيما يحتمل ترليون ترليون ترليون ترليون ترليون ترليون طن لكل بوصة مكعبة (واحد يتبعه ٧٢ صفرا). ونحن نعرف الآن أيضا أن نظرية أينشتين للنسبية العامة لا تسمح للكون بأن يرتد من طور انكماش إلى التمدد الحالي. وكما سوف يناقش في الفصل الثاني، فقد أمكن لي أنا وروجربنروز أن نبين أن النسبية العامة تتنبأ بأن العالم بدأ بالانفجار الكبير. وبالتالي فإن نظرية أينشتين تتضمن بالفعل أن للزمن بداية، على الرغم من أن أينشتين لم يسعد مطلقا بهذه الفكرة.

بل إن أينشتين كان حتى أكثر عزوفا عن الإقرار بأن النسبية العامة تتنبأ بأن الزمن سوف يصل إلى نهاية بالنسبة للنجوم الضخمة عندما تصل إلى نهاية حياتها فلا تولد بعد الحرارة الكافية للتوازن مع قوة جاذبيتها هي نفسها، التي تحاول أن تجعل النجوم أصغر. واعتقد أينشتين أن هذه النجوم سوف تستقر في بعض حالة نهائية، ولكننا نعرف الآن أنه لا يوجد تصور لحالة نهائية للنجوم التي

تكون كتلتها أكثر من ضعف كتلة الشمس. وسوف تستمر هذه النجوم في الانكماش حتى تصبح ثقوبا سوداء، أي مناطق من الزمكان يبلغ من انحنائها على نفسها أن الضوء لا يمكنه الفرار منها (الشكل ١٥ـ ١).

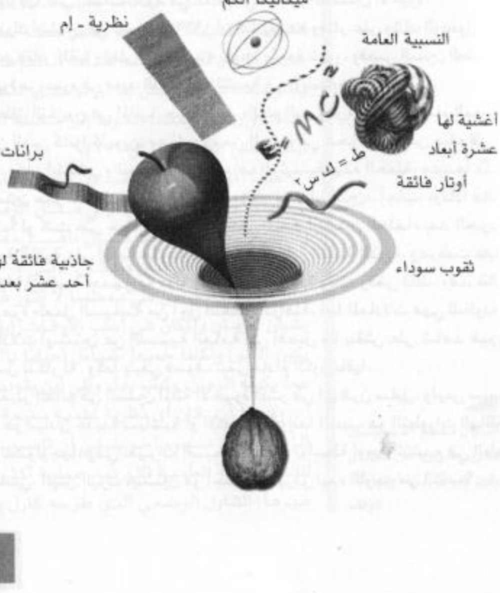
أوضح بنروز هو وأنا أن النسبية العامة تتنبأ بأن الزمان يصل إلى نهاية داخل الثقب الأسود، سواء بالنسبة للنجم أو لأي رائد فضاء سيئ الحظ تتحدث له أن يقع داخل الثقب. على أن بداية الزمان هي ونهايته ستكون كلتاهما موضعين لا يمكن أن تحدد عندهما معادلات من النسبية العامة. وبالتالي فإن النظرية لا تستطيع أن تتنبأ بما ينبغي أن ينبثق عن الانفجار الكبير. ورأى البعض أن في هذا دليلا على وجود حرية ميتافيزيقية في أن يبدأ الكون بأي طريقة تكون، إلا أن آخرين (وأنا منهم) أحسوا بأن بداية الكون ينبغي أن تكون محكومة بنفس القوانين التي تبقى صحيحة في الأوقات الأخرى. وقد أحرزنا بعض تقدم نحو هذا الهدف على نحو ما سوف يوصف في الفصل الثالث، ولكننا لم نصل بعد إلى فهم كامل لأصل الكون.



الشكل (١٥ ـ ١)

عندما يستنفد نجم ضخم وقوده النووي، فإنه يفقد من حرارته ويتقلص. وسيكون انحناء المكان ـ الزمان انحناء بالغ الشدة بحيث يتشكل ثقب أسود لا يمكن للضوء أن يفر منه. وسيصل الزمان إلى نهايته داخل الثقب الأسود.

سبب انهيار النسبية العامة عند الانفجار الكبير هو أنها لا تتوافق مع نظرية الكم، وهي الثورة الفكرية العظيمة الأخرى في أوائل القرن العشرين. وصلت إلينا أولى خطوات نظرية الكم في ١٩٠٠، عندما اكتشف ماكس بلانك في برلين أن الإشعاع المنبعث من جسم يتوهج محمرا بالحرارة لا يمكن تفسيره إلا إذا كان بث الضوء أو امتصاصه يحدث فقط في حزمات منفصلة، تسمى الكمّات. وكان أينشتين قد أوضح في إحدى أوراق بحثه العلمي المبدعة التي كتبها في ١٩٠٥ وهو في مكتب البراءات، أن الكم لبلانك يمكن أن يفسر ما يسمى بالظاهرة الكهرضوئية، وهي الطريقة التي تبث بها معادن معينة الإلكترونات عندما يسقط الضوء عليها. وهذا هو أساس الكشافات الضوئية الحديثة وكاميرات التليفزيون، وهذا هو البحث الذي نال عنه أينشتين جائزة نوبل للفيزياء.



استمر أينشتين في أبحاثه على فكرة الكم في عشرينيات القرن العشرين، ولكنه انزعج انزعاجا عميقا من أبحاث ويرنر هايزنبرج في كوبنهاجن، وبول ديراك في كمبردج، واروين شرودينجر في زيوريخ، الذين أنشأوا صورة جديدة للواقع تسمى ميكانيكا الكم. لم يعد هناك بعد للجسيمات الدقيقة موضع وسرعة معينان. وبدلا من ذلك فإنه عندما تزيد الدقة التي نحدد بها وضع الجسيم، تقل الدقة التي نستطيع بها تحديد السرعة، والعكس بالعكس. روع أينشتين من هذا العنصر العشوائي في القوانين الأساسية والذي لا يمكن التنبؤ به، ولم يتقبل أبدا تقبلا كاملا ميكانيكا الكم. وقد عبر عن مشاعره في قوله المشهور «إن الله لا يلعب النرد». على أي حال، وافق معظم العلماء على صحة قوانين الكم الجديدة بسبب ما أعطته من تفسيرات لمدى كامل من ظواهر كان لا يمكن تفسيرها فيما سبق، ولتوافق هذه القوانين توافقا ممتازا مع الملاحظات. وهذه القوانين هي أساس التطورات الحديثة في الكيمياء والبيولوجيا الجزيئية والإلكترونيات، وأساس التكنولوجيا التي أحدثت تحولا في العالم في السنين الخمسين الأخيرة.

أدرك أينشتين في ديسمبر ١٩٣٢ أن النازيين هم وهتلر على وشك الوصول إلى الحكم، فغادر ألمانيا وتخلى عن جنسيته بعدها بأربعة شهور، وقضى السنين العشرين الأخيرة من عمره في معهد الدراسات المتقدمة في برينستون، بنيوجيرسي.

أطلق النازيون في ألمانيا حملة ضد «العلم اليهودي» وضد العلماء اليهود الألمان الذين كانوا كثيرين؛ وهذا جزء من السبب في عجز ألمانيا عن صنع قنبلة ذرية. وكان أينشتين والنسبية من الأهداف الرئيسية لهذه الحملة، وعندما ذكر لأينشتين خبر نشر كتاب عنوانه «مائة مؤلف ضد أينشتين»، أجاب: «ولماذا مائة مؤلف؟ لو كنت على خطأ لكان واحد يكفي». حث أينشتين الحلفاء بعد الحرب العالمية الثانية على إقامة حكومة عالمية للتحكم في القنبلة الذرية، وعرضت عليه في ١٩٤٨ رئاسة جمهورية دولة إسرائيل الجديدة ولكنه رفض ذلك. وقد قال ذات مرة «تعمل السياسة من أجل اللحظة الراهنة، أما المعادلات فهي للخلود». ومعادلات أينشتين عن النسبية العامة هي أفضل ما ينقش على شاهد قبره وأفضل تذكار له. وكما ينبغي فسوف تبقى مادام الكون باقيا.

تغير العالم في السنين المائة الأخيرة أكثر في أي قرن سابق. وليس سبب ذلك هو مبادئ جديدة سياسية أو اقتصادية، وإنما السبب هو التطورات الهائلة في التكنولوجيا، وهي تغيرات أصبحت ممكنة بواسطة أوجه التقدم في العلم الأساسي. أليس ألبرت أينشتين هو أحسن من يرمز لهذه الأوجه من التقدم؟.

2 شكل الزمان

تعطي نظرية النسبية العامة لأينشتين شكلا للزمان كيف يمكن توفيق ذلك مع نظرية الكم

ما هو الزمان؟ هل هو تيار لنهر يظل ينساب أبدا حاملا كل أحلامنا بعيدا كما تقول الترنيمة القديمة؟ أو هل هو مسار سكة حديد؟ هل يمكن أن تكون فيه لفات أنشوطية وتفرعات، بحيث يمكن لنا أن نواصل الذهاب أماما وإن كان يمكننا العودة إلى محطة أكثر تبكيرا على الخط (الشكل ١-٢).

كتب المؤلف تشارلز لامب في القرن التاسع عشر: «لا شيء يحيرني مثل الزمان والمكان. ومع ذلك فإن «أقل» ما يزعجني هو الزمان والمكان، لأني لا أفكر أبدا فيهما». ونحن في معظمنا لا يثور قلقنا بشأن الزمان والمكان في أغلب الأوقات، أيا ما يكون الأمر؛ ولكننا جميعا نتساءل أحيانا بالفعل عما يكونه الزمان، وكيف بدأ، وإلى أين يقودنا.

وفيما أرى فإن أي نظرية علمية سليمة عن الزمان أو أي مفهوم آخر ينبغي أن تؤسس على تلك الفلسفة العلمية التي تعد عملية أكثر من غيرها: التناول الوضعي الذي طرحه كارل بوبر

«مازال معظم الفيزيائيين ينفرون غريزيا من فكرة أن يكون للزمان بداية أو نهاية»

المؤلف

وآخرون. والنظرية العلمية حسب هذه الطريقة في التفكير هي نموذج رياضي يوصّف ما نرصده من ملاحظات وينظم قانونا لها. والنظرية الجيدة توصف مدى واسعا من الظواهر على أساس فروض قليلة بسيطة وتصنع تنبؤات محددة يمكن اختبارها. وإذا اتفقت التنبؤات مع الملاحظات فإن النظرية تظل باقية بعد الاختبار، وإن كان لا يمكن أبدا إثبات صحتها. ومن الناحية الأخرى، إذا لم تتفق الملاحظات مع التنبؤات فسيكون علينا أن ننبذ النظرية أو نعدلها. (وعلى الأقل، فإن هذا هو ما يفترض أن يحدث. أما عند التطبيق فإن الناس كثيرا ما يتشككون في دقة الملاحظات ومدى إمكان الثقة فيمن يقومون بالملاحظة، وما تكون عليه شخصيتهم أخلاقيا). وعندما نتخذ موقفا وضعيا، كما أفضل، فإننا لا نستطيع أن نقول ما الذي يكونه الزمان بالفعل. وكل ما نستطيع أن نفعله هو أن نصف ما نجد أنه نموذج رياضي جيد جدا للزمان وأن نذكر التنبؤات التي يصنعها.

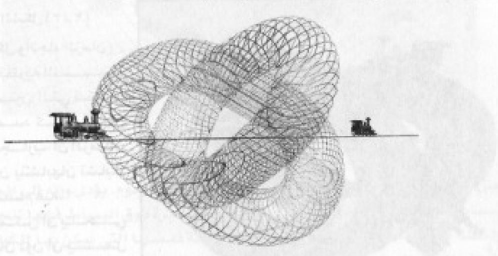


الشكل (٢-١)

نموذج الزمان كمسار للسكة الحديد

ولكن هل هو خط رئيسي في اتجاه واحد - اتجاه المستقبل - أم أنه يمكن أن يتجه وراء في أنشوطة تعود إلى الاتصال بالخط الرئيسي عند وصلة أكثر تبكيرا؟

أعطى لنا إسحق نيوتن أول نموذج رياضي للزمان والمكان في كتابه «المبادئ الرياضية» الذي نشر في ١٦٨٧. شغل نيوتن كرسي لوكاس للأستاذية في كيمبردج الذي أشغله أنا الآن، وإن كان هذا الكرسي وقتها لا يعمل بالكهرباء (*). كان الزمان والمكان في نموذج نيوتن يشكلان خلفية تقع فيها الأحداث ولكنها لا تتأثر بها. والزمان منفصل عن المكان ويعد خطأ واحدا أو كمسار السكة الحديد، الذي يكون لا نهائيا في كلا الاتجاهين (الشكل ٢-٢). والزمان نفسه يعد سرمديا، بمعنى أنه وجد وسيظل موجودا للأبد. وفي تباين مع ذلك يعتقد معظم الناس أن الكون الفيزيقي قد خُلق على حالته الراهنة تقريبا منذ آلاف معدودة من السنين. وأثار هذا انزعاج فلاسفة مثل المفكر الألماني إيمانويل كانط. إذا كان الكون قد خلق حقا، فلماذا كانت هناك فترة انتظار لانهائية قبل خلقه؟ ومن الناحية الأخرى إذا كان الكون موجودا دائما، فلماذا لم يحدث من قبل كل ما سوف يحدث، بما يعني انتهاء التاريخ؟ وعلى وجه الخصوص لماذا لم يصل الكون إلى التوازن الحراري، حيث يكون كل شيء في درجة الحرارة نفسها؟



الشكل (٢-٢)

كان الزمان عند نيوتن منفصلا عن المكان، وكأنه مسار للسكة الحديد يمتد إلى ما لا نهاية في كلا الاتجاهين.

سمّى كانط هذه الظاهرة بأنها «مناقضة العقل الخالص»، لأن هذا بدا له كتناقض منطقي، لا حل له. ولكن هذا كان تناقضا فحسب في سياق النموذج الرياضي النيوتوني، حيث الزمان خط لا نهائي، على نحو ما يحدث في الكون. على أنه حدث كما رأينا في الفصل الأول، أن طرح أينشتين في ١٩١٥

(*) يقصد هوكنج هنا كرسيه ذي العجلات الذي يتحرك به بسبب مرضه الذي يقعده (المترجم).

نموذجا رياضيا جديدا تماما: نظرية النسبية العامة. وقد أضفنا، في السنين التي تلت ورقة بحث أينشتين، بعض إضافات معدودة، ولكن نموذجنا للزمان والمكان مازال يؤسس على ما طرحه أينشتين. سنصف في هذا الفصل، وما يليه، كيف تطورت أفكارنا بمر السنين بعد ورقة بحث أينشتين الثورية. وقد كان من ذلك قصص نجاح لأبحاث عدد كبير من الأفراد، وأنا فخور بأن كان لي إسهام صغير في هذا.

تضم النسبية العامة معا بعد الزمان مع أبعاد المكان الثلاثة لتشكل ما يسمى المكان الزمان (أو الزمكان) (الشكل٣-٢). وتدمج النظرية تأثير الجاذبية بأن تذكر أن توزيع المادة والطاقة في الكون يحني ويشوه المكان- الزمان بحيث أنه لا يكون مسطحا. تحاول الأجسام في هذا المكان- الزمان أن تتحرك في خطوط مستقيمة، ولكن لما كان الزمكان منحنيا، فإن مساراتها تظهر منحنية، وهي تتحرك كما لو كانت متأثرة بمجال جذبوي.

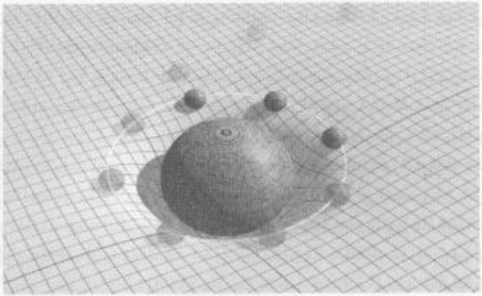


الشكل (٣-٢)

(شكل واتجاه الزمان)

تبين نظرية النسبية لأينشتين، التي تتفق مع عدد كبير من التجارب، أن الزمان والمكان يتشابهان تشابكا لا انفصام فيه. ولا يمكن أن ينحني المكان دون أن يشمل ذلك أيضا الزمان، وبالتالي، فإن الزمان له شكل. على أن الزمان يبدو أيضا على أن له اتجاها واحدا، كما تظهر لنا القاطرات في الرسم التوضيحي.

وفي قياس تماثل تقريبي لا يؤخذ حرفيا، دعنا نتخيل بساطا من المطاط. يستطيع المرء أن يضع كرة كبيرة فوق البساط لتمثل الشمس. وسيؤدي وزن الكرة إلى انخفاض في البساط ويجعله منحنيا قرب الشمس. إذا دحرجنا الآن كرات بلي صغيرة فوق البساط، فإنها لن تتدحرج في خط مستقيم للجانب الآخر، وإنما تدور بدلا من ذلك حول الوزن الثقيل، مثلما تدور الكواكب حول الشمس (الشكل ٤-٢).



الشكل (٤-٢)

(التمثيل ببساط المطاط)

تمثل الكرة الكبيرة في المركز جرما ضخما مثل أحد النجوم. يؤدي وزنه إلى انحناء البساط بالقرب منه. عندما تتدحرج كرات بلي صغيرة فوق البساط فإنها تنحرف بواسطة هذا الانحناء وتدور حول الكرة، بالطريقة نفسها التي يمكن بها للكواكب، التي في المجال الجذبوي لأحد النجوم، أن تتخذ مدارا حوله.

والتمثيل هنا ناقص لأن فيه انحناء لقطاع في المكان من بعدين لا غير (سطح بساط المطاط)، بينما ترك الزمان من غير إزعاج كما هو في نظرية نيوتن. على أننا نجد في نظرية النسبية، التي تتفق مع عدد كبير من التجارب، أن الزمان والمكان متشابكان تشابكا لا انفصام فيه. فنحن لا نستطيع أن نحني المكان من دون أن يشمل ذلك الزمان أيضا. ومن ثم فإن الزمان له شكل. وإذ تحني النسبية العامة المكان والزمان، فإنها تغير

منهما، وبدلا من أن يكونا خلفية سلبية تقع الأحداث إزاءها فإنهما يصبحان مساهمين نشطين ديناميين فيما يحدث. والزمان كما يوجد في نظرية نيوتن يكون مستقلا عن أي شيء آخر، وهكذا يمكن نتساءل: ماذا خلق الخالق قبل خلق الكون؟ ويقول سانت أوغسطين إننا يجب ألا نمزح بهذا الشأن ونقول مثل من قال، «إن الله وقتها كان يعد الجحيم لأولئك الذين يفكرون تفكيرا أعمق مما ينبغي». فهذا سؤال جاد ظل الناس يفكرون فيه مليا طول الدهور. وحسب سانت أوغسطين فإن الله قبل خلق السماء والأرض لم يخلق أي شيء مطلقا. والحقيقة أن قوله هذا قريب جدا من الأفكار الحديثة.

الزمان كما يوجد في نظرية نيوتن يكون مستقلا عن أي شيء آخر. ومن الناحية الأخرى، نجد في النسبية العامة أن الزمان والمكان لا يوجدان على نحو مستقل عن الكون أو أحدهما عن الآخر. فهما يتعينان بقياسات من داخل الكون، مثل عدد ذبذبات بلورة كوارتز (مرو) في ساعة أو مثل طول مسطرة. ومن الممكن تماما أن نتصور أن الزمان عند تعيينه بهذه الطريقة، من داخل الكون، ينبغي أن تكون له قيمة بحد أدنى وحد أقصى. وبكلمات أخرى أن تكون له بداية أو نهاية. ولن يكون هناك أي معنى لأن نسأل ما الذي حدث قبل البداية أو بعد النهاية، لأنه لا يمكن تعيين أوقات كهذه.

كان من الواضح أن من المهم أن نقرر ما إذا كان النموذج الرياضي للنسبية العامة «يتنبأ» بأن الكون، والزمان نفسه، ينبغي أن يكون لهما بداية أو نهاية. كانت النزعة العامة بين الفيزيائيين النظريين، بمن فيهم أينشتين، هي الاعتقاد بأن الزمان ينبغي أن يكون لا نهائيا في كلا الاتجاهين، وإلا سوف تكون هناك أسئلة مربكة حول تكوين الكون بدا أنها خارج مجال العالم. كانت هناك حلول معروفة لمعادلات أينشتين يكون للزمان فيها بداية أو نهاية، ولكنها كانت كلها حلولا خاصة جدا، فيها قدر كبير من السمترية. وكان هناك اعتقاد بأن الجرم الواقعي، الذي يتقلص بتأثير جاذبيته هو نفسه، يكون فيه ضغط أو سرعات جانبية تمنع أن تتهاوى المادة كلها معا إلى النقطة نفسها، حيث ستكون الكثافة لانهائية. وبمثل ذلك، فإننا عندما نتابع تمدد الكون وراء في

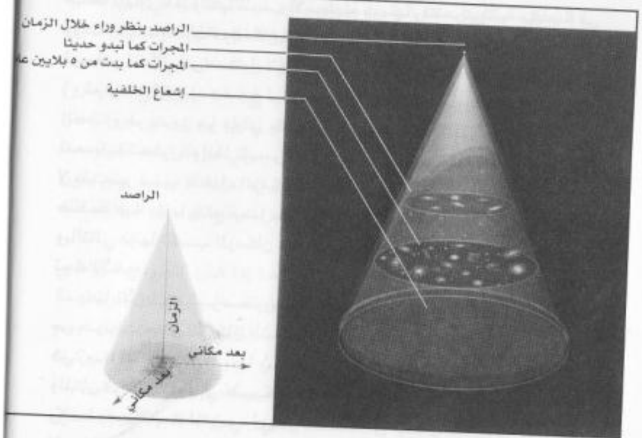
الزمان، سنجد أن مادة الكون لا تنبثق كلها من نقطة ذات كثافة لانهائية. وكان يطلق على هذه النقطة من الكثافة اللانهائية اسم المفردة، وهي ما ستكون عنده بداية أو نهاية الزمان.

في ١٩٦٣ زعم العالمان الروسيان إيفجيني ليفشيتز وإيزاك خالاتنيكوف أنهما قد أثبتا أن حلول معادلات أينشتين التي فيها مفردة كلها لها تنظيم خاص للمادة والسرعات. على أن احتمال أن يكون الحل الذي يمثل الكون حلا له هذا النظام الخاص، احتمال يقدر عمليا بأنه صفر. وكانت كل الحلول تقريبا التي يمكن أن تمثل الكون تتجنب أن يكون فيها مفردة من كثافة لانهائية: فلابد من أنه كان يوجد قبل العهد الذي يتمدد أثناءه الكون مرحلة انكماشية سابقة، كانت المادة أثناءها تتهاوى معا ولكنها تتجنب الاصطدام بنفسها، فتتحرك ثانية متباعدة في مرحلة التمدد الحالية. وإذا كان الحل هكذا، فإن الزمان سوف يستمر إلى الأبد من ماض لانهائي إلى مستقبل لانهائي.

لم يقتنع كل فرد بحجج ليفشيتز و خالاتنيكوف. وبدلا من ذلك فقد اتخذ روجر بنروز هو وإياي طريقة تناول مختلفة، لا تؤسس على دراسة تفصيلية للحلول، وإنما تؤسس على البنية العامة للمكان - الزمان. لا يقتصر سبب انحناء الزمكان في النسبية العامة على وجود أجرام ضخمة فيه وإنما ينتج أيضا عما فيه من طاقة. والطاقة دائما إيجابية، وبالتالي فإنها تكسب الزمكان انحناء يحني مسارات أشعة الضوء أحدها تجاه الآخر.

دعنا الآن ننظر أمر مخروط ضوء الماضي (الشكل ٥-٢)، أي ما يوجد من مسارات خلال الزمكان لأشعة الضوء الآتية من المجرات البعيدة لتصلنا في زمننا الحالي. لو رسمنا شكلا تخطيطيا يرسم الزمان فيه إلى أعلى والمكان في اتجاه جانبي، فسيكون هذا مخروطا تتجه قمته أو طرفه إلينا. وكلما ذهبنا تجاه الماضي، أي من القمة إلى أسفل المخروط، فسنرى المجرات عند زمن مبكر أكثر وأكثر. وحيث إن الكون ظل يتمدد، فإن الأشياء فيما مضى كانت تتقارب أكثر كثيرا، وهكذا كلما نظرنا وراء إلى أبعد فستمر نظرتنا إلى الوراء خلال مناطق تتزايد كثافة مادتها. وسوف نرصد خلفية ضعيفة من إشعاع الميكروويف تمتد إلينا بطول مخروط ضوء الماضي من زمان مبكر أكثر التبكير، عندما كان الكون أشد كثيرا في كثافته

وسخونته مما هو عليه الآن. وبضبط أجهزة التلقي على الترددات المختلفة للميكروويف نستطيع أن نقيس طيف هذا الإشعاع (أي توزيع القوة كما ينتظم حسب التردد). وسنجد هنا نوع الطيف الذي يتميز به الإشعاع الذي يبثه جسم عند درجة حرارة ٢٫٧ درجة فوق الصفر المطلق. لن يكون هذا الإشعاع الميكروويفي جد صالح لإذابة فطيرة بيتزا مجمدة، ولكن هذا الطيف يتفق في الحقيقة اتفاقا بالغ الدقة مع طيف شعاع من جسم حرارته ٢٫٧ درجة، ومن هذه الحقيقة سنعرف أن هذا الإشعاع يأتي ولابد من مناطق معتمة بالنسبة للميكروويف (الشكل ٢-٦).



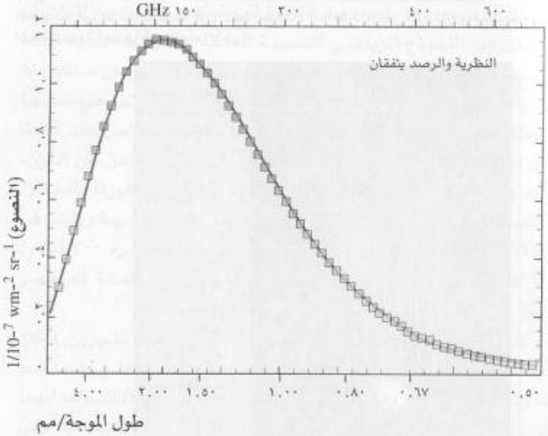
الشكل (٢-٥)

(مخروط ضوء الماضي)

عندما ننظر إلى المجرات البعيدة فإننا ننظر إلى الكون وهو في زمن أكثر تبكيرا لأن الضوء ينتقل بسرعة محددة. إذا مثلنا الضوء بالاتجاه العمودي ومثلنا بعدين من أبعاد المكان الثلاثة أفقيا، يكون الضوء الذي يصلنا الآن عند نقطة القمة قد انتقل تجاهنا على مخروط.

وإذن، فإنه يمكننا أن نستنتج أننا عندما نتتبع مخروط ضوء الماضي وراء فإنه لابد من أن يمر من خلال كمية معينة من المادة. وتكون هذه الكمية من المادة كافية لأن تحني المكان ـ الزمان، بحيث أن أشعة الضوء في مخروط ضوء ماضينا تكون محنية وراء أحدها في اتجاه الآخر (الشكل ٢-٧)

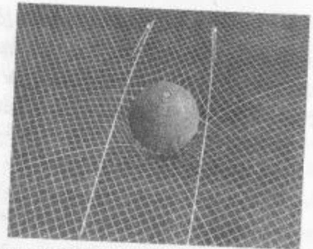
طيف خلفية الميكروويف الكونية من القمر الصناعي (كوب)



الشكل (٢-٦)

(قياس طيف الخلفية الميكرووفية)

هذا الطيف ـ توزيع الشدة مع التردد ـ لإشعاع خلفية الكون الميكروويفي يكون بالشكل المتميز لذلك الذي يبثه جسم ساخن. حتى يكون الإشعاع في حالة اتزان حراري، لابد من أن تكون المادة قد أحدثت فيه بعثرة (استطارة) لمرات كثيرة. ويدل هذا على أنه لابد من أن المادة قد وجدت في مخروط ضوء الماضي بكميات كافية لأن تجعله ينحني إلى الداخل.



الشكل (٢-٧)
انحناء المكان - الزمان (الزمكان)، حيث إن الجاذبية لها صفة الجذب، فإن المادة تحدث دائما انحناء في الزمكان بحيث تنحني أشعة الضوء أحدها في اتجاه الآخر.



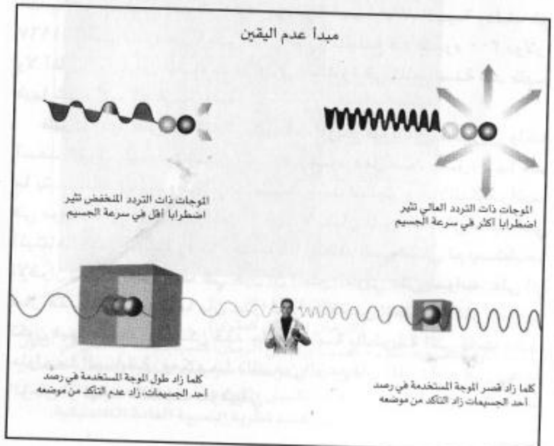
الشكل (٢-٨)
(الزمان له شكل كمثرى)
إذا تتبع المرء مخروط ضوء ماضينا وراء في الزمان، فسيجد أنه ينحني في الكون المبكر وراء بفعل المادة. وكل الكون الذي نرصده موجود ضمن منطقة تنكمش حدودها إلى الصفر عند الانفجار الكبير. وتكون هذه هي المفردة، أي المكان الذي تكون كثافة المادة عنده لانهائية وتنهار عنده نظرية النسبية العامة الكلاسيكية.

إذا ذهبنا وراء في الزمان، فستصل القطاعات المستعرضة لمخروط ماضينا إلى أقصى اتساع لها، ثم يأخذ حجمها في الصغر ثانية فماضينا له شكل كمثرى (الشكل ٨ - ٢).

وإذا تابعنا مخروط ضوء ماضينا لما هو أبعد وراء، فسنجد أن كثافة طاقة المادة الإيجابية تجعل أشعة الضوء تنحني أحدها متجها إلى الآخر بقوة أكبر. وينكمش القطاع المستعرض لمخروط الضوء ليصبح صفرا عند وقت محدد. ويعني هذا أن كل المادة داخل مخروط ضوء الماضي وقعت في حبس منطقة انكمشت حدودها إلى الصفر. وبالتالي، فليس مما يثير دهشة بالغة أني تمكنت وبنروز من إثبات أن الزمان في النموذج الرياضي للنسبية العامة، له، ولابد، بداية فيما يسمى بالانفجار الكبير. كما تبين حجج مماثلة أن الزمان ستكون له نهاية، عندما تتقلص النجوم أو المجرات بتأثير جاذبيتها هي نفسها لتشكل ثقوبا سوداء. لقد تفادينا مناقضة العقل الخالص عند كانط بأن أسقطنا فرضه الضمني بأن الزمان له معنى مستقل عن الكون. أدت ورقة بحثنا، التي تثبت أن الزمان له بداية، إلى فوزنا بالجائزة الثانية في مسابقة تشرف عليها مؤسسة أبحاث الجاذبية وذلك في ١٩٦٧، واشترك روجر معي في الفوز بمبلغ له قدره ٣٠٠ دولار. ولا أظن أن أيا من المقالات الأخرى الفائزة في تلك السنة قد ظهر فيها شيء كثير له قيمة باقية.

ظهرت ردود فعل مختلفة لبحثنا. فقد أزعج فيزيائيين كثيرين، ولكنه أسعد القراء المتدينين الذين يؤمنون بوجود فعل من خلق، فها هو ما يثبت ذلك علميا. وفي الوقت نفسه، وجد لفشيتز وخالاتنيكوف أنهما في موقف حرج. ولم يستطيعا أن يجادلا بشأن المبرهنات الرياضية التي أثبتناها، كما أنهما وهما تحت حكم النظام السوفيتي لم يستطيعا الإقرار بأنهما على خطأ في حين أن العلم الغربي على صواب. على أي حال فقد أنقذا موقفهما بأن عثرا على طاقة من الحلول الأكثر عمومية تكون فيها مفردة، ولم تكن هذه حلولا خاصة بالطريقة التي كانت عليها حلولهما السابقة. ومكنهما ذلك من الزعم بأن المفردات، هي وبداية الزمان أو نهايته اكتشاف سوفييتي.

مازال معظم الفيزيائيين ينفرون غريزيا من فكرة أن يكون للزمان بداية أو نهاية. ومن ثم فقد أوضحوا أنه قد لا يكون من المتوقع أن يوجد في النموذج الرياضي توصيف جيد للزمكان بالقرب من المفردة. وسبب ذلك أن النسبية العامة التي توصّف قوة الجاذبية هي كما لاحظنا في الفصل الأول نظرية كلاسيكية، ولا تتضمن عدم اليقين الموجود في نظرية الكم التي تتحكم في كل القوى الأخرى التي نعرفها. وعدم وجود اتساق هكذا ليس له أهمية في معظم الكون لمعظم الوقت، لأن المقياس الذي ينحني به المكان - الزمان مقياس كبير جدا والمقياس الذي تكون عنده التأثيرات الكمومية مهمة مقياس صغير جدا، أما بالقرب من المفردة، فسنجد أن المقياسين يكونان متشابهين، فتكون تأثيرات الكم الجذبوي مهمة. وبالتالي فإن ما أثبتته حقا مبرهنات المفردة التي توصل لها بزوز هو وإياي، أن منطقتنا الكلاسيكية من الزمكان تكون مقيدة بالماضي، وفيما يحتمل تكون كذلك مقيدة بالمستقبل، بواسطة مناطق تكون فيها الجذبوية - الكمية أمرا مهما، وحتى نفهم أصل ومصير الكون سنحتاج إلى نظرية الكم للجاذبية، وسيكون هذا موضوع معظم هذا الكتاب.



إحدى الخطوات المهمة في اكتشاف نظرية الكم هي ما طرحه ماكس بلانك في ١٩٠٠من أن الضوء يأتي دائما في حزمات صغيرة سماها الكمات. وقد فسر فرض الكم لبلانك تفسيرا واضحا ما يلاحظ من معدل سرعة الإشعاع من الأجسام الساخنة، على أنه لم يُدرك المدى الكامل لما فيه من تضمينات إلا في منتصف عشرينيات القرن العشرين، عندما صاغ الفيزيائي الألماني ويرنر هايزنبرج مبدأه الشهير عن عدم اليقين. فقد لاحظ أن فرض بلانك يتضمن أنه كلما حاول المرء أن يحدد موضع أحد الجسيمات بدقة أكثر، قلّت قدرته على دقة قياس سرعته، والعكس بالعكس.

- وإذا شئنا المزيد من الدقة، فإنه قد بين أن حاصل ضرب اليقين في موضع أحد الجسيمات في عدم اليقين في كمية حركته يجب أن يكون دائما أكبر من ثابت بلانك. وثابت بلانك هو مقدار يتعلق وثيقا بالطاقة المحتواة في كمّة واحدة من الضوء

معادلة هايزنبرج لعدم اليقين



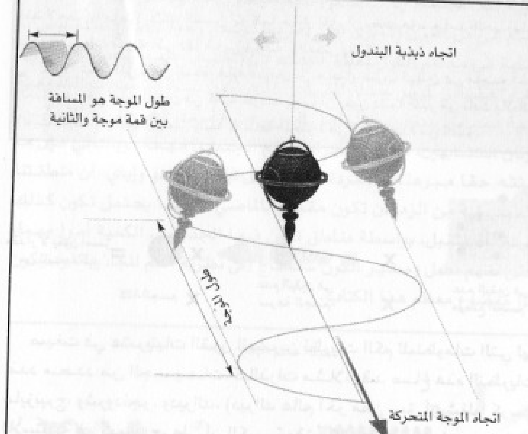
صيغت في عشرينيات القرن العشرين نظريات الكم للمنظومات التي لها عدد محدد من الجسيمات، كالذرات مثلا، وقد صاغ هذه النظريات هايزنبرج، وشرودنجر، وديراك. (ديراك عالم آخر ممن سبق أن شغلوا كرسيّ للأستاذية في كيمبردج، على أن الكرسيّ وقتها كان مازال مزودا بمحرك) إلا أن الناس كانوا يواجهون صعوبات عندما يحاولون مد أفكار الكم إلى مجال ماكسويل الذي يوصّف الكهرباء والمغناطيسية والضوء.

مجال ماكسويل

في ١٨٦٥ ولف الفيزيائي البريطاني، جيمس كلارك ماكسويل، بين كل القوانين المعروفة للكهرباء والمغناطيسية. وترتكز نظرية ماكسويل على وجود «مجالات» ترسل مفعولاتها من مكان إلى آخر. وقد أدرك أن المجالات التي ترسل الاضطرابات الكهربائية والمغناطيسية هي كيانات ديناميكية: فهي تستطيع أن تتذبذب وأن تتحرك خلال الفضاء.

يمكن تركيز تركيب ماكسويل للكهرومغناطيسية في معادلتين توصّفان ديناميات هذه المجالات. وقد استقى هو نفسه أول استنتاج عظيم من هذه المعادلات: وهو أن المجالات الكهرومغناطيسية من كل الترددات تنتقل خلال الفضاء بالسرعة الثابتة نفسها - سرعة الضوء.

نستطيع أن نفكر في مجال ماكسويل على أنه مصنوع من موجات لها أطوال مختلفة (طول الموجة هو المسافة بين قمة إحدى الموجات وقمة الموجة التالية). وسيحدث في الموجة أن سيتأرجح المجال من قيمة إلى أخرى مثل البندول (الشكل ٩-٢).



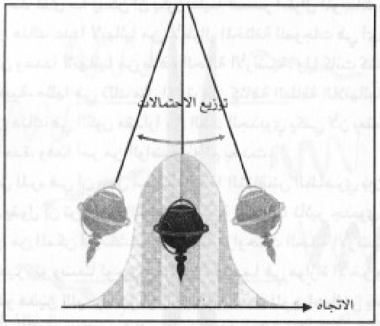
الشكل (٩-٢)
(موجة متحركة وبندول يتذبذب)

ينتقل الإشعاع الكهرومغناطيسي خلال الفضاء في شكل موجة، مع تذبذب مجالاته الكهربائية والمغناطيسية، مثل البندول، في اتجاهات أفقية على اتجاه حركة الموجة. ويمكن أن يتألف الإشعاع من مجالات لموجات من مختلف الأطوال.

سنجد حسب نظرية الكم أن الحالة الأرضية للبندول، أو أدنى حالة طاقة له، لا تكون قابعة فحسب عند أدنى نقطة طاقة له، عندما يشير مباشرة إلى أسفل. فهذه النقطة سيكون لها معا موضع محدد وسرعة محددة، هما الصفر. وهذا فيه انتهاك لمبدأ عدم اليقين، الذي يمنع القياس الدقيق للموضع والسرعة معا في الوقت نفسه. وحاصل ضرب عدم اليقين في

الموضوع مضروبا في عدم اليقين في كمية الحركة لابد من أن يكون مقداره أكبر من كمية معينة تعرف باسم ثابت بلانك. وهذا رقم أطول من أن نحاول مواصلة تسجيله كتابة، وبالتالي فإننا نستخدم له رمزا هو: $\hbar$.

وإذن، فإن الحالة الأرضية للبندول، أو أدنى حالة له، لا تكون طاقة من الصفر كما قد نتوقع. وبدلا من ذلك فإن البندول أو أي منظومة متذبذبة، يكون له ولابد حتى وهو في حالته الأرضية، مقدار من حد أدنى معين مما يسمى تراوحات نقطة الصفر. وتعني هذه التراوحات أننا سنجد أنه لن يحدث بالضرورة أن يشير البندول مباشرة إلى أسفل وإنما سيكون هناك أيضا احتمال بأن نجده يصنع زاوية صغيرة مع الاتجاه العمودي (الشكل ١٠-٢). وبالمثل، فإن الموجات في مجال ماكسويل، حتى وهي في الفراغ Vacuum أو أدنى حالة للطاقة، لن يكون لها قيمة الصفر بالضبط، وإنما يمكن أن يكون لها أحجام صغيرة. وكلما ازداد عدد ترددات البندول أو الموجة (أي عدد التأرجحات في كل دقيقة)، ازدادت طاقة الحالة الأرضية.

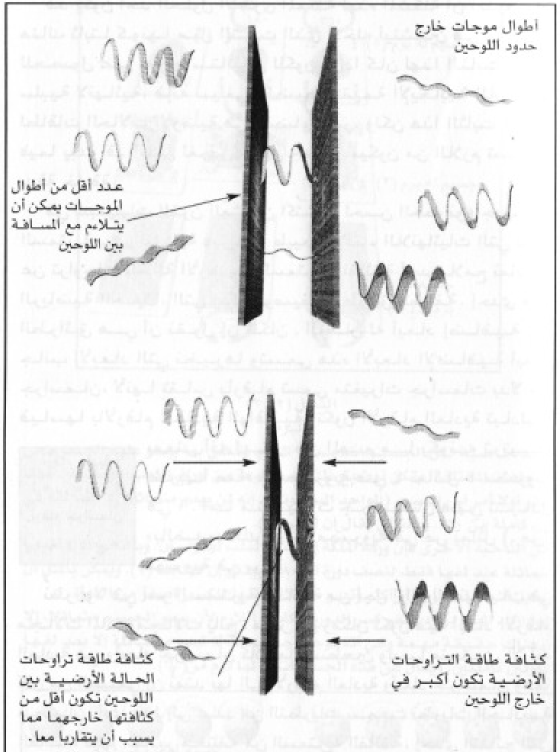


الشكل (١٠-٢)
(البندول وتوزيع الاحتمالات)

حسب مبدأ هايزنبرج يستحيل على البندول أن يشير على نحو مطلق إشارة مباشرة إلى أسفل، بسرعة من صفر. وبدلا من ذلك، تتنبأ نظرية الكم بأن البندول، حتى وهو في أدنى حالاته من الطاقة، لا بد من أن يكون له مقدار من حد أدنى من التراوحات؛ وهذا يعني أن موضع البندول يحسب حسب توزيع للاحتمالات. وأكثر موضع يرجح له في حالته الأرضية هو أن يشير مباشرة إلى أسفل، إلا أن هناك أيضا احتمالا بأن نجد أنه يصنع زاوية صغيرة مع الاتجاه العمودي.

أجريت حسابا لتراوحات الحالة الأرضية في مجالات ماكسويل والمجالات الإلكترونية ووجد أنها تجعل القيمة الظاهرة لكتلة وشحنة الإلكترون لانهائية، وهذا أمر لا يظهر فيما نلاحظه. على أنه حدث في الأربعينيات أن أنشأ الفيزيائيون ريتشارد فينمان، وجوليان شوينجر، وشنشيرو تومونجا طريقة متسقة لإزالة أو إجراء «عملية طرح» لهذه اللانهائيات والتعامل فقط مع القيم المحددة للكتلة والشحنة التي نلاحظها. ومع ذلك فإن تراوحات الحالة الأرضية ظلت تسبب تأثيرات صغيرة يمكن لنا قياسها وتتفق تماما مع التجربة. نجحت نظم طرح مماثلة لإزالة اللانهائيات من مجال يانج - ميلز في النظرية التي طرحها تشن نينج يانج وروبرت ميلز. نظرية يانج - ميلز هي امتداد لنظرية ماكسويل وهي توصف التفاعلات في قوتين أخريين تسميان القوة النووية الضعيفة والقوة النووية القوية. على أن تراوحات الحالة الأرضية لها تأثير أخطر من ذلك كثيرا بالنسبة إلى نظرية كم للجاذبية. ومرة أخرى سيكون كل طول لموجة له طاقة للحالة الأرضية. وحيث أنه لا يوجد حد لمدى ما يمكن أن يكون عليه قصر أطوال الموجات في مجال ماكسويل، فإن هناك عددا لانهائيا من الأطوال المختلفة للموجات في أي منطقة من المكان - الزمان وعددا لانهائيا من طاقة الحالة الأرضية. ولما كانت كثافة الطاقة مصدرا للجاذبية، مثلها في ذلك مثل المادة، فإن كثافة الطاقة اللانهائية هذه تعني فيما ينبغي أن هناك في الكون مقدارا من الشد الجذبوي يكفي لأن يعقص الزمكان في منطقة واحدة، وهذا أمر من الواضح أنه لم يحدث.

قد يأمل المرء في أن يحل مشكلة هذا التناقض الظاهري بين الملاحظة والنظرية بأن يقول إن تراوحات الحالة الأرضية ليس لها تأثير جذبوي، ولكن هذا حل لن ينجح. من الممكن أن نكشف عن طاقة تراوحات الحالة الأرضية بواسطة ظاهرة كاسيمير. لو وضعنا لوحين معدنيين أحدهما في موازاة الآخر وقريب منه، سيكون تأثير هذين اللوحين هو أن يقلل هونا عدد الموجات التي يلائم طولها المسافة ما بين اللوحين بالنسبة إلى عددها خارج اللوحين. ويعني هذا أن كثافة الطاقة لتراوحات الحالة الأرضية بين اللوحين هي وإن كانت لا تزال لانهائية، إلا أنها أقل بكمية محددة من كثافة الطاقة خارجها (الشكل ١١-٢). وهذا الفارق في كثافة الطاقة ينشأ عنه قوة تشد اللوحين معا، وقد رصدت هذه القوة تجريبيا. هذا والقوى في النسبية العامة مصدر للجاذبية، تماما مثل المادة، وبالتالي لن يكون الأمر متسقا لو تجاهلنا التأثير الجذبوي لهذا الفارق في الطاقة.



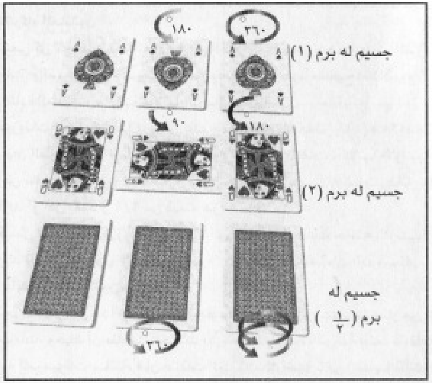
الشكل (١١-٢)
(ظاهرة كاسيمير)
تأكد تجريبيا وجود تراوحات في الحالة الأرضية، وذلك بواسطة ظاهرة كاسيمير، وهي قوة هينة بين لوحين معدنيين متوازيين.

قد يكون أحد الحلول الأخرى الممكنة لهذه المشكلة أن نفترض أن هناك ثابتا كونيا مثل الثابت الذي أدخله أينشتين في محاولة للحصول على نموذج ستاتيكي للكون. وإذا كان لهذا الثابت قيمة سلبية لانهائية، فإنه سيلغي بالضبط القيمة الإيجابية اللانهائية لطاقات الحالات الأرضية في الفضاء الحر، ولكن هذا الثابت الكوني فيما يبدو قد أُنشئ لغرض خاص جدا، وسيكون من اللازم تضبيطه بدقة خارقة.

في سبعينيات القرن العشرين اكتُشف لحسن الحظ نوع جديد من السمترية يوفر لنا آلية فيزيائية طبيعية لإلغاء اللانهائيات التي تنشأ عن تراوحات الحالة الأرضية. السمترية الفائقة أحد ملامح نماذجنا الرياضية الحديثة، التي يمكن توصيفها بطرائق مختلفة. إحدى هذه الطرائق هي أن نقول إن المكان . الزمان له أبعاد إضافية إلى جانب الأبعاد التي نخبرها وتسمى هذه الأبعاد الإضافية أبعاد جراسمان، لأنها تقاس بأرقام تسمى متغيرات جراسمات بدلا من قياسها بالأرقام العادية الواقعية. تكون الأرقام العادية تبادلية، بمعنى أنه ليس من المهم ما يكونه ترتيب ضربها معا: ٦ مضروبة في ٤ تماثل ٤ مضروبة في ٦. أما متغيرات جراسمان فهي تتبادل «بالضد»: ذلك أن س مضروبة في ص تماثل (. ص) مضروبة في س.

أرقام عادية
أ × ب = ب × أ
أرقام جراسمان
أ × ب = − ب × أ

نُظر أولا في أمر السمترية الفائقة من أجل إزالة اللانهائيات في مجالات المادة ومجالات يانج . ميلز في زمكان تكون فيه أبعاد الأرقام العادية هي وأبعاد جراسمان كلاهما مسطحين وليسا منحنيين. إلا أنه كان من الطبيعي أن نمتد بها إلى الأرقام العادية وأبعاد جراسمان وهما منحنيان. أدى هذا إلى عدد من النظريات سميت نظريات الجاذبية الفائقة، فيها مقادير مختلفة من السمترية الفائقة. إحدى النتائج التي تترتب على السمترية الفائقة هي أنه ينبغي أن يكون لكل مجال أو جسيم «شريك فائق» له برم قيمته أقل أو أزيد بمقدار $\frac{1}{2}$ من قيمته هو نفسه (الشكل ١٢-٢).

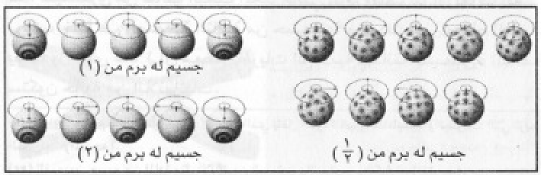


الشكل (١٢-٢)
(البرم)

توجد خاصية لكل الجسيمات اسمها البرم، تتعلق بما يبدو عليه الجسيم من الاتجاهات المختلفة. يمكن توضيح ذلك بمجموعة من أوراق اللعب (كوتشينة). دعنا ننظر أولا أمر آس السبيد (الواحد البستوني). إنه لن يبدو متماثلا إلا عند لفه في دوره كاملة من ٣٦٠. وبالتالي يقال إن له برم (١).

ومن الناحية الأخرى فإن ورقة الملكة (البنت) القلب لها رأسان. وبالتالي فإنها تبدو متماثلة عند لفها فقط لنصف دورة أي ١٨٠. ويقال إن لها لف (٢). ويمكن بالمثل أن نتخيل أشياء لها برم ٣ أو أكثر وتبدو متماثلة بلفها للكسور أصغر من الدورة.

كلما ازداد البرم يزداد صغر كسر الدورة الكاملة اللازم لأن يبدو الجسيم متماثلا، إلا أن هناك حقيقة مهمة وهي أنه توجد جسيمات لا تبدو متماثلة إلا بعد لفها لدورتين كاملتين. ويقال عن هذه الجسيمات أن لها برم من($\frac{1}{2}$).



الشركاء الفائقون

تنتمي كل الجسيمات المعروفة في الكون إلى إحدى مجموعتين، الفرميونات أو البوزونات. والفرميونات جسيمات لها برم من نصف عدد صحيح (مثلا برم ٢/١)، وهي تشكل المادة العادية. وطاقات حالاتها الأرضية سالبة.

البوزونات جسيمات لها برم من عدد صحيح (مثلا صفر و (١) و (٢))، وتنشأ عنها القوى بين الفرميونات، مثل قوة الجاذبية والضوء، وطاقات حالاتها الأرضية موجبة. وتفترض نظرية الجاذبية الفائقة أن كل فرميون وكل بوزون له شريك فائق تكون قيمة برمه أزيد أو أقل بمقدار ٢/١ من قيمته هو نفسه.

وكمثل فإن الفوتون (وهو بوزون) له برم من (١). وطاقة حالته الأرضية موجبة. والشريك الفائق للفوتون، الفوتينو، له برم ٢/١، بما يجعله أحد الفرميونات. وإذن فإن طاقة حالته الأرضية تكون سالبة.

ونحن ننتهي في هذا النظام من الجاذبية الفائقة إلى عدد متساو من البوزونات والفرميونات. وحيث أن طاقات الحالات الأرضية للبوزونات موجبة بينما طاقات الحالات الأرضية للفرميونات سالبة، فإن طاقات الحالات الأرضية تلغي إحداها الأخرى، ويؤدي هذا إلى إزالة اللانهائيات الكبرى.

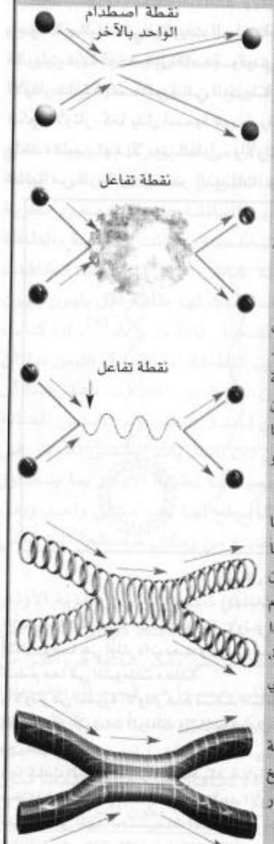
البوزونات (*) مجالات برمها عدد صحيح (صفر وواحد واثنان... إلخ) والحالات الأرضية لطاقاتها إيجابية. ومن الناحية الأخرى تكون الفرميونات (**) بمجالات برم من نصف عدد (٢/١ و ٣/٢ الخ). وطاقات حالاتها الأرضية سالبة. ولما كان هناك عدد متساو من البوزونات والفرميونات، فإن أكبر اللانهائيات تلغى في نظريات الجاذبية الفائقة.

يظل هناك إمكان لأن تتخلف فيما يحتمل مقادير أصغر، وإن كانت مازالت لانهائية. ليس هناك من يكون لديه الصبر اللازم لإجراء حسابات حول ما إذا كانت هذه النظريات محددة بالفعل تحديدا كاملا. ويقدر أن هذا سيستغرق من طالب البحث المجد مائتي عام، وكيف لنا أن نعرف أنه لم يرتكب خطأ في الصفحة الثانية من حساباته؟ ومع ذلك كان معظم العلماء يعتقدون حتى ١٩٨٥ أن معظم نظريات الجاذبية الفائقة للسمترية الفائقة ستكون خالية من اللانهائيات.

(*) البوزون جسيم ينقل القوى، مثل الفوتون الذي ينقل القوة الكهرومغناطيسية والجلونات التي تربط الكواركات (المترجم).

(**) الفرميون جسيم من المادة مثل الإلكترون البروتون والنيوترون والكوارك (المترجم).

نماذج لسلوك الجسيم



١- إذا كانت الجسيمات النقط توجد فعلا كعناصر منفصلة مثل كور البلياردو، فسيحدث وقتها أنه عندما يصطدم اثنان منهما فإن مساريهما سينحرفان إلى مسارين جديدين

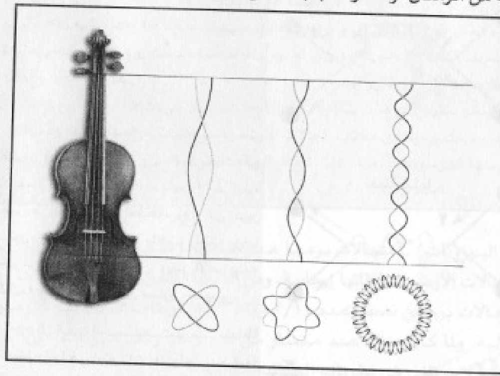
٢- هذا ما يبدو أنه يحدث عندما يتفاعل جسيمان، وإن كانت نتيجة ذلك درامية بدرجة أكبر كثيرا.

٣- تبين نظرية المجال الكمي جسيمين مثل إلكترون ومضاده أو بوزيترون، وهما يتصادمان، وإذ يفعلا ذلك فإنهما يبيد أحدهما الآخر لفترة وجيزة في تفجر عنيف للطاقة، يؤدي إلى تكوين فوتون. ويطلق هذا بعدها طاقته، لينتج زوجا آخر من إلكترون - بوزيترون. ويظل الأمر يبدو وكأنهما قد انحرفا توا إلى مسارين جديدين.

٤- إذا كانت الجسيمات ليست نقاطا كالصفر وإنما هي أوتار ذات بعد واحد تهتز فيها الأنشوطات المتذبذبة في هيئة إلكترون وبوزيترون، سيحدث وقتها أنها عندما تتصادم ويبيد أحدهما الآخر، أنها ستتشكل وترا جديدا له نمط اهتزازي مختلف. ومع إطلاق الطاقة، ينقسم هذا إلى وترين يستمران في طريقهما في مسارين جديدين.

٥- إذا نظرنا إلى تلك الأوتار الأصلية ليس على أنها لحظات منفصلة، وإنما كتاريخ غير منقطع في الزمان، سنرى عندها الأوتار الناتجة كصفحة عالم من أوتار.

فجأة تغيرت النزعة السائدة. وأعلن العلماء أنه لا يوجد سبب لئلا نتوقع وجود لانهائيات في نظريات الجاذبية الفائقة، وأخذ هذا على أنه يعني أنها نظريات فيها أوجه خلل فادحة. ونودي بأنه توجد بدلا من ذلك نظرية اسمها الأوتار فائقة السمترية هي الطريقة الوحيدة للجمع بين الجاذبية ونظرية الكم. الأوتار، كما يدل اسمها في خبرة حياتنا اليومية، أشياء ممتدة ذات بعد واحد. فليس لها إلا بعد الطول. والأوتار في نظرية الأوتار هذه تتحرك خلال خلفية من الزمكان. وتفسر الذبذبات على الوتر كجسيمات (الشكل ١٣-٢).



الشكل (١٣-٢)
(ذبذبات الوتر)

الأشياء الأساسية حسب نظرية الأوتار ليست جسيمات تشغل نقطة واحدة في المكان، وإنما هي أوتار ذات بعد واحد. وهذه الأوتار قد يكون لها طرفان أو هي قد تنضم معا في أنشوطات مغلقة.

والأوتار في نظرية الأوتار هذه تتخذ أنماطا اهتزازية معينة بما يشبه تماما أوتار الكمان، أو الترددات الرنانة، وتتلاءم أطوال موجات هذه الأنماط تلاؤما مضبوطا ما بين طرفي الوتر.

وإذا كانت الترددات الرنانة المختلفة لأوتار الكمان تنشأ عنها نغمات موسيقية مختلفة، فإن الذبذبات المختلفة لأحد الأوتار تنشأ عنها كتل وشحنات قوى مختلفة، تفسر على أنها الجسيمات الأساسية. وعلى نحو تقريبي، كلما كان طول موجة الذبذبة على الوتر أقصر، زادت كتلة الجسيم.

إذا كان للأوتار أبعاد جراسمان ولها كذلك أبعادها بالأرقام العادية، ستكون الذبذبات مناظرة للبوزونات والفرميونات. وفي هذه الحالة فإن الطاقات الموجبة والسلبية للحالات الأرضية سوف تلغي إحداها الأخرى بدقة بالغة بحيث لن يكون هناك لانهائيات ولا حتى من النوع الأصغر. ويزعم هكذا أن الأوتار الفائقة هي «نظرية كل شيء».

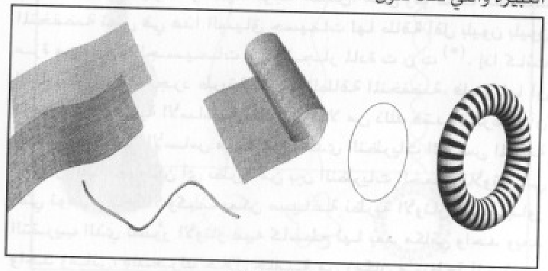
سيجد مؤرخو العلم في المستقبل أن من الشيق رسم الخريطة التي تغير بها تيار الفكر بين الفيزيائيين النظريين. ظلت الأوتار هي النزعة السائدة لعدة سنين وأهملت الجاذبية الفائقة على أنها مجرد نظرية تقريبية لا تصح إلا عند الطاقة المنخفضة. وكانت خاصية «الطاقة المنخفضة» تعتبر أمرا لعينا بوجه خاص، حتى ولو كانت الطاقات المنخفضة تعني في هذا السياق جسيمات لها طاقة أقل بليون بليون مرة من طاقة الجسيمات في انفجار لمادة ت ن ت (*). إذا كانت الجاذبية الفائقة مجرد طريقة تقريب للطاقة المنخفضة، فليس لها أن تزعم إنها النظرية الأساسية للكون. وبدلا من ذلك فقد افترضنا أن النظرية التي في الأساس منها هي إحدى النظريات الخمس الممكنة للأوتار الفائقة. ولكن أي نظرية من بين النظريات الخمس للأوتار هي التي توصف كوننا؟ وكيف يمكن صياغة نظرية الأوتار بما يتجاوز التقريب الذي تصوَّر الأوتار فيه كأسطح لها بعد مكاني واحد وبعد واحد زماني، وتتحرك خلال خلفية من زمكان مسطح؟ ألن تحني الأوتار خلفية الزمكان؟

اتضح تدريجيا في السنوات التي تلت ١٩٨٥ أن نظرية الأوتار ليست هي الصورة الكاملة. فبداية، تحقق العلماء من أن الأوتار هي مجرد واحد في فئة واسعة من الأشياء التي يمكن مدها في أكثر من بعد واحد. يعمل بول تاونسند مثلي عضوا في قسم الرياضيات التطبيقية والفيزياء النظرية في كمبردج، وقد أجرى الكثير من الأبحاث الأساسية على هذه الأشياء، وأعطاها اسم «برانات بي» (p: branes). وبران - بي له طول في الاتجاهات بي. هكذا عندما تكون بي = ١ يكون البران وترا، وعندما تكون بي = ٢ يكون البران سطحا أو

(*) ت ن ت: اختصار نترات التولوين الثلاثية وهي مادة شديدة الانفجار (المترجم).

غشاء، وهكذا دواليك (الشكل ١٤-٢). ولا يوجد أي سبب لأن نفضل حالة الوتر بي = ١ على القيم الأخرى المحتملة لـ بي. وبدلا من ذلك ينبغي أن نتخذ مبدأ ديموقراطية بران - بي الذي يقول: كل برانات - بي تخلق متساوية.

نستطيع أن نلقي كل برانات بي كحلول لمعادلات نظريات الجاذبية الفائقة التي تكون في عشرة أبعاد أو أحد عشر بعدا. وبينما يبدو أن الأبعاد العشرة أو الأحد عشر لا تشبه كثيرا الزمكان الذي نخبره، إلا أن الفكرة هي أن الأبعاد الستة أو السبعة الأخرى تكون ملفقة إلى حجم صغير جدا بحيث لا نلحظها؛ فنحن ندرك فقط الأبعاد الأربعة الباقية الكبيرة والتي تكاد تكون مسطحة.



الشكل (١٤.٢)
(برانات - بي)

برانات بي أشياء تمتد في الأبعاد بي. ومن الحالات الخاصة الأوتار حيث بي = ١، والأغشية حيث بي = ٢، على أن من الممكن أن يكون لبي قيم أكبر في مكان - زمان له عشرة أبعاد أو أحد عشر بعدا. وكثيرا ما تكون بعض أو كل أبعاد بي ملفقة كالطارة.

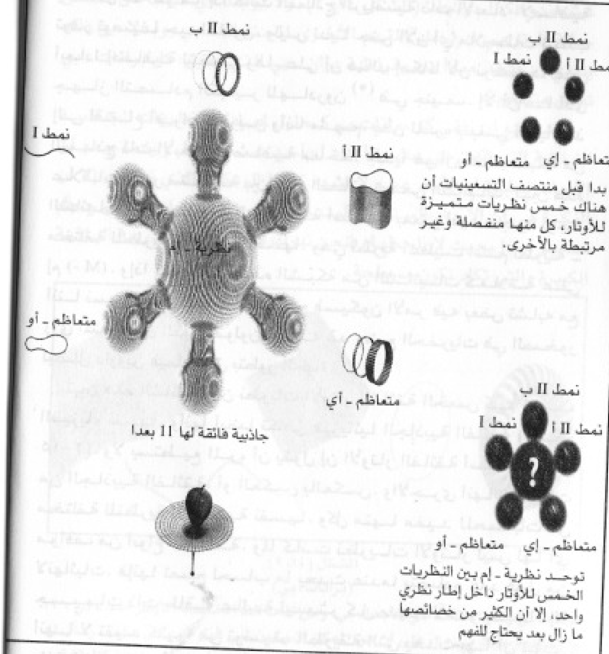
لابد لي من أن أقول إني شخصيا كنت أنفر من الاعتقاد في الأبعاد الإضافية. ولكن حيث إني من الوضعيين (*)، فإني أجد أن سؤال «هل توجد واقعيا أبعاد إضافية؟» لهو سؤال بلا معنى. فكل ما يمكن للمرء أن

(*) الوضعية مذهب يرى أن الفكر الإنساني لا يدرك سوى الظواهر الواقعية والمحسوسة وما بينها من علاقات أو قوانين، والعلم التجريبي هو المثل الأعلى لليقين، وعلى ذلك لا مجال للبحث عن طبائع الأشياء ولا عن عللها الغائية (المترجم).

يتساءل عنه هو ما إذا كانت النماذج الرياضية ذات الأبعاد الإضافية توفر توصيفا جيدا للكون. وليس لدينا حتى الآن أي ملاحظات تتطلب أبعادا إضافية لتفسيرها. على أن هناك إمكانا لأن نرصدها في جهاز التصادم الكبير للهادرون (*) في جنيف. إلا أن ما أدى إلى اقتناع أفراد كثيرين وأنا منهم، بأن المرء ينبغي أن يأخذ النماذج ذات الأبعاد الإضافية مأخذا جديا هو أن هناك شبكة من علاقات غير متوقعة بين هذه النماذج تسمى الثنائيات. تبين هذه الثنائيات أن النماذج كلها متكافئة أساسا؛ بمعنى أنها مجرد أوجه مختلفة للنظرية الأساسية نفسها، وهي نظرية أعطيت اسم نظرية - إم (M -). وإذا لم نأخذ هذه الشبكة من الثنائيات كعلامة على أننا نسير على الدرب الصحيح فسيكون الأمر فيه بعض تشابه مع رأي المتعصبين الذين يقولون إن الله قد وضع الحفريات في الصخور ليضلل داروين فيما يتعلق بتطور الحياة.

تبين هذه الثنائيات أن نظريات الأوتار الفائقة الخمس كلها توصف الفيزياء نفسها، وأنها أيضا تكافئ فيزيائيا الجاذبية الفائقة (الشكل ١٥-٢). ولا يستطيع المرء أن يقول إن الأوتار الفائقة أساسية أكثر من الجاذبية الفائقة، أو العكس بالعكس. والأحرى أنها تعبيرات مختلفة للنظرية الأساسية نفسها، وكل منها مفيد للحسابات في مواقف من أنواع مختلفة. ولما كانت نظريات الأوتار ليس لها أي لانهائيات، فإنها تصلح لحساب ما يحدث عندما يتصادم عدد قليل من جسيمات ذات طاقة عالية ليبعثر كل منها الآخر بعيدا. إلا أنها لا تفيد كثيرا في توصيف الطريقة التي يحدث بها أن تؤدي طاقة عدد كبير جدا من الجسيمات إلى انحناء الكون، أو تشكل حالة ذات قيود مثل ثقب أسود. فنحن نحتاج من أجل هذه المواقف إلى الجاذبية الفائقة، وهي أساسا نظرية أينشتين عن المكان - الزمان المنحني مع بعض أنواع إضافية من المادة. وهذه هي الصورة التي سأستخدمها أساسا فيما يلي:

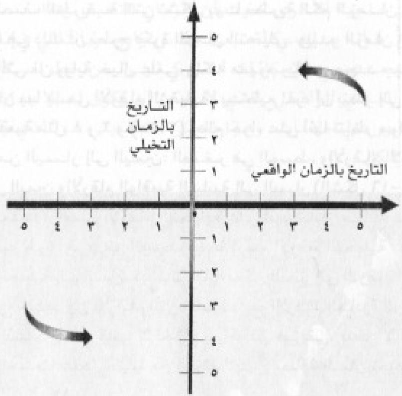
(*) الهادرون جسيم يحس بالقوة النووية القوية، مثل النيوترونات والبروتونات والجسيمات التي تربطها (المترجم).



(الشكل ١٥ - ٢)

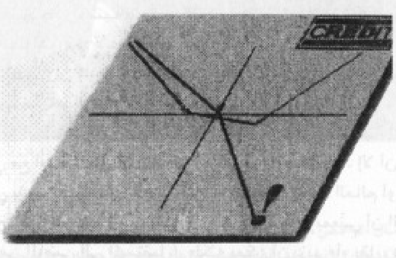
(هل هو الإطار الموحد؟)

هناك شبكة من علاقات تسمى ثنائيات، تربط معا كل نظريات الأوتار الخمس وكذلك أيضا الجاذبية الفائقة ذات الأحد عشر بعدا. تطرح الثنائيات أن نظريات الأوتار المختلفة هي مجرد تعبيرات مختلفة عن النظرية الأساسية نفسها التي سميت نظرية - إم.



الشكل (١٦ - ٢)

نستطيع إنشاء نموذج رياضي يكون فيه اتجاه للزمان التخيلي يتعامد على الزمان العادي الواقعي. ولهذا النموذج قواعد تحدد التاريخ في الزمان التخيلي بلغة من التاريخ في الزمان الواقعي، والعكس بالعكس.



الشكل (١٧ - ٢)

الأرقام التخيلية نوع من بنية رياضية. ولكننا لا نستطيع أن نحوز بطاقة ائتمان بأرقام تخيلية لدفع ثمن المشتريات.

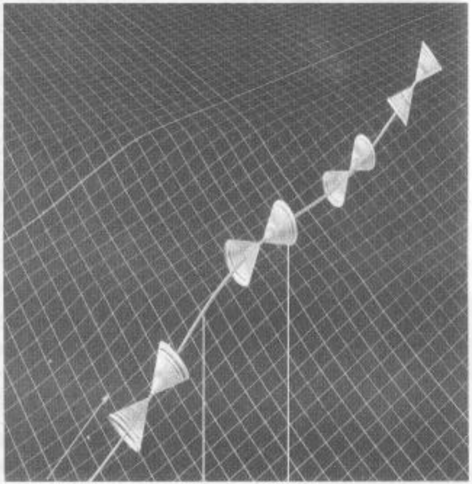
حتى نصف الطريقة التي تشكل بها نظرية الكم الزمان والمكان، سيساعدنا في ذلك أن نطرح فكرة الزمان التخيلي. ويبدو الزمان التخيلي وكأنه شيء أتى من رواية خيال علمي، ولكنه مفهوم رياضي محدد جيدا: فهو قياس للزمان بما يسمى الأرقام التخيلية. يستطيع المرء أن ينظر إلى الأرقام العادية الواقعية مثل ١ و ٢ و (٣،٥٠) وهلم جرا، على أنها تناظر مواقع على خط يمتد من اليسار إلى اليمين: الصفر في الوسط، والأرقام الإيجابية الواقعية إلى اليمين والأرقام الواقعية السلبية إلى اليسار (الشكل ١٦- ٢).

يمكننا بعدها أن نمثل الأرقام التخيلية على أنها تناظر مواقع على خط رأسي: الصفر مرة أخرى في الوسط، بينما ترسم الأرقام التخيلية الإيجابية إلى أعلى والسلبية إلى أسفل. وبالتالي فإنه يمكن النظر إلى الأرقام التخيلية على أنها نوع جديد من الأرقام التي تتعامد مع الأرقام العادية الواقعية. وحيث إنها إنشاء رياضي فإنها لا تحتاج إلى تحقق فيزيقي، فنحن لا نستطيع أن يحوز الواحد منا عددا تخيليا من البرتقالات أو بطاقة ائتمان تخيلية لدفع المشتريات (الشكل ١٧-٢).

وربما يعتقد المرء أن هذا يعني أن الأرقام التخيلية هي مجرد لعبة رياضية لا علاقة لها بالعالم الواقعي. إلا أنه من وجهة نظر الفلسفة الوضعية، لا يستطيع المرء أن يحدد ما هو الواقعي. وكل ما نستطيعه هو أن نعثر على النموذج الرياضي الذي يوصّف الكون الذي نعيش فيه. وقد ثبت في النهاية أن نموذجا رياضيا يتضمن الزمان التخيلي لا يقتصر على أن يتنبأ فحسب بظواهر قد لاحظناها من قبل، وإنما يتنبأ أيضا بظواهر لم نستطع بعد قياسها وإن كنا نؤمن بها لأسباب أخرى. وإذن، فما هو الواقعي وما هو التخيلي؟ هل هذا التمييز موجود فحسب في عقولنا؟

تجمع نظرية أينشتين الكلاسيكية (أي اللاكمية) عن النسبية العامة الزمان الواقعي مع أبعاد المكان الثلاثة في زمكان من أربعة أبعاد. إلا أن اتجاه الزمان الواقعي يتميز فيها عن الأبعاد الثلاثة المكانية؛ فخط العالم أو تاريخ أحد الملاحظين يتزايد دائما مع اتجاه الزمان الواقعي (بمعنى أن الزمان يتحرك دائما من الماضي إلى المستقبل)، ولكنه يمكن أن يزيد «أو يقل» في أي من الاتجاهات الثلاثة المكانية، وبكلمات أخرى يستطيع المرء أن يعكس اتجاهه في المكان ولكن ليس في الزمان (الشكل ١٨-٢).

ومن الناحية الأخرى، حيث أن الزمان التخيلي يتعامد على الزمان الواقعي، فإنه يسلك وكأنه بعد مكاني رابع. وبالتالي فإنه يمكن أن يكون له مدى من الإمكانات أغنى كثيرا من خط السكة الحديد للزمان العادي الواقعي، الذي لا يمكن أن يكون له إلا بداية أو نهاية أو أن يدور في حلقات. وهذا المعنى التخيلي هو الذي يكون فيه للزمان شكل.



الشكل (٢.١٨)

في الزمان الواقعي بزمكان نظرية النسبية العامة الكلاسيكية يتميز الزمان عن اتجاهات المكان لأنه يزيد فقط عبر تاريخ أحد الملاحظين، وذلك بخلاف اتجاهات المكان التي يمكن لها أن تزيد أو تنقص عبر ذلك التاريخ. ومن الناحية الأخرى فإن اتجاه الزمان التخيلي في نظرية الكم يكون وكأنه اتجاه آخر في المكان، وبالتالي فإنه يمكنه أن يزيد أو ينقص.



الزمان التخيلي كدرجات من خطوط العرض



الزمان التخيلي كدرجات من خطوط الطول التي تتلاقى عند القطبين الجنوبي والشمالي

الشكل (١٩-٢)
(الزمان التخيلي)
في الزمكان التخيلي الذي على شكل كرة، يمكن أن يمثل اتجاه الزمان التخيلي بمسافة البعد عن القطب الجنوبي. عندما يتحرك المرء شمالا يكبر حجم دوائر خطوط العرض التي على مسافات ثابتة من القطب الجنوبي، بما يناظر تمدد الكون بالزمان التخيلي. وسيصل الكون إلى أقصى حجم عند خط الاستواء ثم يتقلص ثانية مع زيادة الزمان التخيلي ليصل إلى نقطة واحدة عند القطب الشمالي. وعلى الرغم من أن الكون سيكون حجمه صفرا عند القطبين، إلا أن هاتين النقطتين لن تكونا مفردتين، تماما مثلما يكون القطبان الشمالي والجنوبي على سطح الأرض نقطتين منتظمتين أكمل الانتظام. ويطرح هذا أن أصل الكون في الزمان التخيلي يمكن أن يكون نقطة منتظمة في الزمكان.

الشكل (٢٠-٢)
بدلا من درجات خطوط العرض، يمكن أن يكون اتجاه الزمان التخيلي في الزمكان الكروي مناظرا لدرجات خطوط الطول. وحيث أن كل خطوط الطول تتلاقى عند القطبين الشمالي والجنوبي، فإن الزمان يكون متوقفا تماما عند القطبين؛ وأي زيادة هناك في الزمان التخيلي تترك المرء في النقطة نفسها، تماما مثلما يحدث عندما يتجه المرء غربا وهو على القطب الشمالي للأرض، فيظل باقيا على القطب الشمالي.

حتى نرى بعض هذه الإمكانات، دعنا ننظر أمر الزمان التخيلي لزمكان كروي مثل سطح الأرض. دعنا نفترض أن الزمان التخيلي هو درجات من خطوط العرض (الشكل ١٩ ـ ٢). سيبدأ إذن تاريخ الكون في الزمان التخيلي عند القطب الجنوبي. لن يكون هناك أي معنى لأن نسأل، «ما الذي حدث قبل البداية؟»

فالأوقات من هذا النوع هي ببساطة مما لا يتحدد، مثلما لا يكون هناك أي نقاط جنوب القطب الجنوبي. والقطب الجنوبي نقطة منتظمة على سطح الأرض أكمل انتظام، وتنطبق عنده القوانين نفسها مثلما تنطبق عند النقاط الأخرى. ويطرح هذا أن بداية الكون في الزمان التخيلي يمكن أن تكون نقطة منتظمة من المكان. الزمان، وأن القوانين نفسها تنطبق عند البداية كما تنطبق في سائر الكون. (سنناقش في الفصل التالي أصل وتطور الكون حسب نظرية الكم).

هناك إمكان لسلوك آخر يمكن توضيحه بأن نعتبر أن الزمان التخيلي درجات من خطوط الطول على الأرض. تلتقي كل خطوط الطول عند القطبين الشمالي والجنوبي (الشكل ٢٠-٢). وبالتالي فإن الزمان يكون متوقفا تماما عندهما، بمعنى أن زيادة الزمان التخيلي أو الدرجات الطولية ستترك المرء عند النقطة نفسها. وهذا يشابه تماما الطريقة التي يبدو بها الزمان العادي متوقفا عند أفق الثقب الأسود. وقد توصلنا إلى إدراك أن هذا التوقف للزمان الواقعي والتخيلي (إما أن يتوقف الاثنان معا أو أن أيا منهما لا يتوقف) يعني أن الزمكان له حرارة، كما اكتشفت أنا بالنسبة للثقوب السوداء. والثقب الأسود لا يقتصر على أن الزمكان له حرارة، وإنما يسلك أيضا وكأن له كمية تقاس تسمى الأنتروبيا. والأنتروبيا قياس لعدد الحالات الداخلية (التي يمكن التشكل بها من الداخل) التي يمكن أن تكون للثقب الأسود من دون أن يبدو عليه أي اختلاف للملاحظ من الخارج، ويستطيع الملاحظ فقط أن يلاحظ كتلة الثقب، ودورانه، وشحنته. وتحسب أنتروبيا الثقب الأسود هذه حسب معادلة بسيطة جدا اكتشفتها أنا في ١٩٧٤، وهي تساوي مساحة أفق الثقب الأسود (*): هناك جزء صغير من المعلومات عن الثقب الأسود في كل وحدة أساسية من مساحة الأفق، ويوضح هذا أنه يوجد ارتباط عميق بين الكم جاذبية والديناميات الحرارية، أي علم الحرارة (الذي يتضمن دراسة الأنتروبيا). وهو يطرح أيضا أن الكم ـ جاذبية قد تبدي ما يسمى بالهولوجرافيا أو التصوير الهولوجرافي في (الشكل ٢١- ٢).

$$S = \frac{Akc3}{4\hbar G}$$

معادلة أنتروبيا الثقب الأسود
A = مساحة أفق الحدث للثقب الأسود
ħ = ثابت بلانك
k = ثابت بولتزمان
G = الثابت الجذبوي لنيوتن
C = سرعة الضوء
S = الأنتروبيا = S

(*) أفق الثقب الأسود حد منطقة الزمكان التي لا يمكن الفرار منها، ويسمى أفق الحدث، وهو يعمل بما يشبه غشاء حول الثقب يكون المرور منه في اتجاه واحد لداخل الثقب ولا قط أي شيء من الثقب الأسود من خلال الأفق (المترجم).



الشكل (٢١-٢)

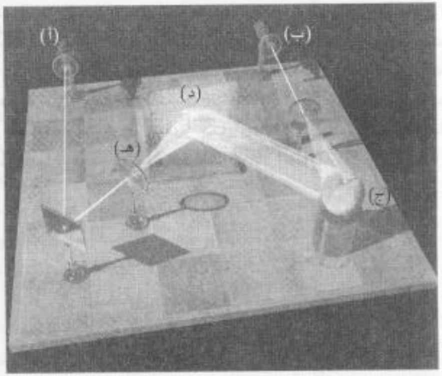
تطرح معادلة مساحة الانتروبيا ، أو عدد الحالات الداخلية ، للثقب الأسود أن المعلومات حول ما يهوي للداخل من الثقب الأسود ربما تختزن مثلما تختزن المعلومات على أسطوانة، لتعاود الظهور عندما يتبخر الثقب الأسود.



مع أن هذه شدفة دقيقة في لوح هولوجرافي من بعدين، إلا أنها تحوي من المعلومات ما يكفي لإنشاء الصورة الكاملة لتفاحة لها ثلاثة أبعاد.

المبدا الهولوجرافي

مع إدراك أن مساحة سطح الأفق المحيط بالثقب الأسود تقيس أنتروبيا الثقب الأسود، أدى ذلك إلى أن يؤيد العلماء الرأي بأن أقصى قدر من الأنتروبيا في أي منطقة مغلقة من المكان لا يمكن أبدا أن يتجاوز ربع مساحة السطح المحيط بها. وحيث أن الأنتروبيا ليست إلا قياسا لإجمالي المعلومات التي تحويها إحدى المنظومات، فإن هذا يطرح أن المعلومات التي تصاحب كل الظواهر في العالم ذي الأبعاد الثلاثة يمكن تخزينها على حدها ذي البعدين، وذلك كصورة هولوجرافية. ويمعنى ما فإن العالم سيكون هكذا ذا بعدين.



الشكل (٢١-٢)

الهولوجرافيا (التصوير الهولوجرافي) هي أساسا ظاهرة تداخل لأنماط الأمواج. تتشكل الصور الهولوجرافية عندما ينقسم الضوء من شعاع ليزر مفرد إلى شعاعين منفصلين (أ و ب). يرتد الشعاع عن الشيء المصور (ج) إلى لوح حساس للضوء (د). ويمر الشعاع الآخر (أ) خلال العدسة (هـ) ويصطدم بضوء (ب) المنعكس، بما يكون نمطا تداخليا فوق اللوح.

عندما يضاء الليزر ناصعا خلال اللوح المحمَّض تظهر صورة كاملة ثلاثية الأبعاد للشيء الأصلي المصور. يستطيع الملاحظ أن يدور من حول هذه الصورة الهولوجرافية فيتمكن من رؤية كل الأوجه المخبوءة التي لا يمكن للصورة العادية إظهارها. فالسطح ذو البعدين للوح إلى اليسار له بخلاف الصور العادية خاصية رائعة، وهي أن أي شدفة من هذا السطح تحوي كل المعلومات اللازمة لإعادة بناء الصورة بأكملها.

من الممكن على نحو ما تشفير المعلومات عن الحالات الكمومية في منطقة من الزمان ـ المكان بحيث تُشَفَّر على حد المنطقة، الذي تكون أبعاده أقل بعدين. وهذا يشبه الطريقة التي تحمل بها الصورة الهولوجرافية صورة ذات ثلاثة أبعاد فوق سطح له بعدان. وإذا كانت الكم ـ جاذبية تتضمن المبدأ الهولوجرافي، فإن هذا قد يعني أننا نستطيع أن نتابع تسلسل المعلومات عما يكون داخل الثقب الأسود. وهذا أمر ضروري حتى نتمكن من التنبؤ بالإشعاع الذي يخرج من الثقوب السوداء. وإذا لم نستطع فعل ذلك، لن نستطيع التنبؤ بالمستقبل على نحو مكتمل كما كنا نعتقد. وسوف نناقش ذلك في الفصل الرابع. كما سنناقش الهولوجرافيا ثانية في الفصل السابع. وفيما يبدو، ربما نعيش على سطح من بران ـ ٣ ـ أي سطح بأربعة أبعاد (ثلاثة مكانية مضاف إليها بعد للزمان)، وهذا السطح هو الحد لمنطقة من خمسة أبعاد، حيث باقي الأبعاد معقوصة إلى حجم صغير جدا. وحالة العالم فوق أحد البرانات إنما تشفر لما يجرى وقوعه في المنطقة ذات الأبعاد الخمسة.

3 الكون في قشرة جوز

الكون لـه تواريخ متعددة، كل منها يتحدد بجوزة دقيقة

«ربما يتحدد مكاني داخل قشرة لجوزة ولكني أعد نفسي ملكا لمكان بلا حدود»

شكسبير

(هاملت، الفصل الثاني، المشهد الثاني)

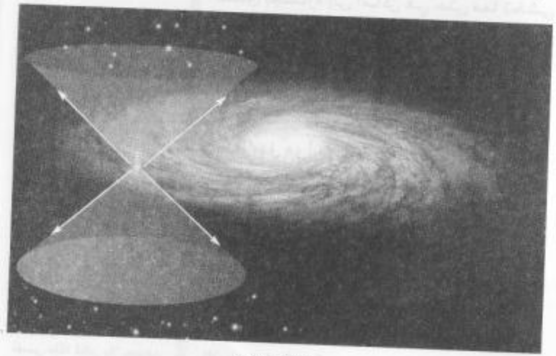
لعل هاملت كان يعني بذلك ـ أننا نحن البشر ـ وإن كنا مقيدين بدنيًا تقييدا شديدا، إلا أن عقولنا حرة في أن تستكشف الكون كله، وأن تنطلق بجسارة إلى أماكن هي حتى مما تخشى مركبة «ستار تريك» (*) الفضائية أن تخطو إليه؛ هذا إذا كانت الأحلام المزعجة التي تثيرها فينا «ستار تريك» ستسمح لنا بفعل ذلك.

هل الكون لانهائي بالفعل أو أنه فحسب كبير جدا؟ وهل هو أبدي أو أن له فحسب عمرا طويلا؟ كيف يمكن لعقولنا المحدودة أن تفهم كونا لانهائيا؟ أليس في هذا تواقحا منا حتى ولو بمجرد المحاولة؟ هل نخاطر بأن يحل بنا مصير بروميثيوس، الذي تقول الأساطير الكلاسيكية أنه سرق النار من زيوس، وأعطاها للبشر ليستخدموها، فعوقب على طيشه بأن قيد بسلسلة إلى صخرة، حيث أخذ النسر ينهش كبده؟

(*) «ستار تريك» رحلة بمركب فضائية في مسلسل تليفزيوني أمريكي مشهور يدور حول مغامرات وحروب في الفضاء (المترجم).

على الرغم مما في هذه الحكاية من تحذير؛ إلا أنني أعتقد أننا نستطيع، بل وينبغي، أن نحاول فهم الكون. لقد أنجزنا بالفعل تقدما ملحوظا في فهم الكون، خاصة في السنوات الأخيرة المعدودة. ليس لدينا بعد صورة كاملة عن الكون، ولكن هذا قد لا يكون بعيدا جدا.

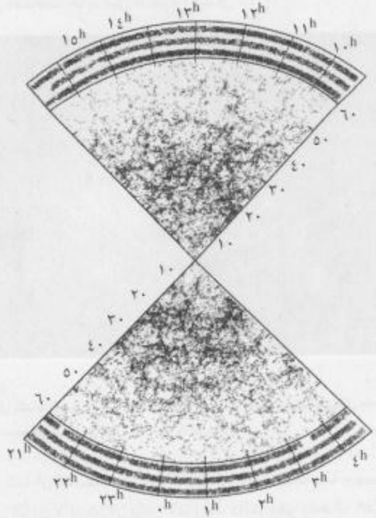
أوضح الأمور بشأن الفضاء هي أنه يستمر في الامتداد والامتداد والامتداد. وقد ثبت ذلك بوساطة الأجهزة الحديثة مثل تليسكوب هابل، الذي يتيح لنا أن نسبر الفضاء عميقا. ونحن نرى هكذا بلايين وبلايين من المجرات من مختلف الأشكال والأحجام. وتحوي كل مجرة بلايين لا تحصى من النجوم، وتوجد كواكب حول الكثير من هذه النجوم. نحن نعيش فوق كوكب يدور حول نجم على ذراع خارجي لمجرتنا اللولبية درب التبانة. ويوجد في الأذرع اللولبية غبار يحجب رؤيتنا للكون في مستوى المجرة، إلا أن لدينا خطا واضحا للرؤية في مخروطات للاتجاهات التي على كل جانب من هذا المستوى، ونحن نستطيع أن نرسم مواضع المجرات البعيدة عنا (الشكل ١ـ٣). وقد وجدنا أن المجرات تتوزع باتساق تقريبا



الشكل (٣.١)

كوكبنا الأرض (E) يدور حول الشمس في المنطقة الخارجية من مجرة درب التبانة اللولبية. يوجد غبار نجمي في الأذرع اللولبية يحجب رؤيتنا من خلال مستوى المجرة، ولكن لدينا مشهدا واضحا على جانبي هذا المستوى.

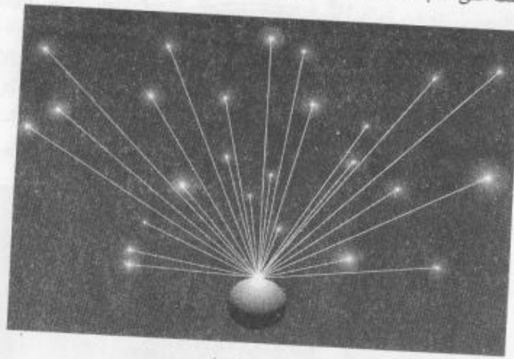
خلال الفضاء كله، مع بعض تركيزات وفراغات محلية. ومن الظاهر أن كثافة المجرات تقل كثيرا على المسافات الكبيرة جدا، ولكن يبدو أن سبب ذلك هو أن المجرات هناك، من فرط بعدها وشحوبها، لا نستطيع اكتشافها. وفي حدود ما نعرف فإن الكون يمتد في الفضاء للأبد (الشكل ٢ـ٣).



الشكل (٣.٢)

تتوزع المجرات وهي متسقة تقريبا في الفضاء كله، وذلك فيما عدا بعض تركيزات محلية.

على الرغم مما يبدو من تماثل الكون تماثلا كبيرا عند كل موضع من الفضاء، إلا أن من المؤكد أنه يتغير بالزمان. لم يحدث التحقق من ذلك حتى السنوات الباكرة من القرن العشرين. وكنا نظن قبلها أن الكون أساسا ثابت في الزمان. وربما يكون الكون موجودا منذ زمن لانهائي، ولكن هذا فيما يبدو يؤدي إلى استنتاجات سخيفة، فلو كانت النجوم قد ظلت تشع لزمن لانهائي، لأدى ذلك إلى أنها ستسخن الكون إلى درجة حرارتها. وستكون السماء كلها، حتى في الليل، ناصعة كالشمس، لأن كل خط رؤية سينتهي إما عند نجم أو عند سحابة غبار قد سخنت حتى أصبحت حارة مثل النجوم (الشكل ٣ـ٣).

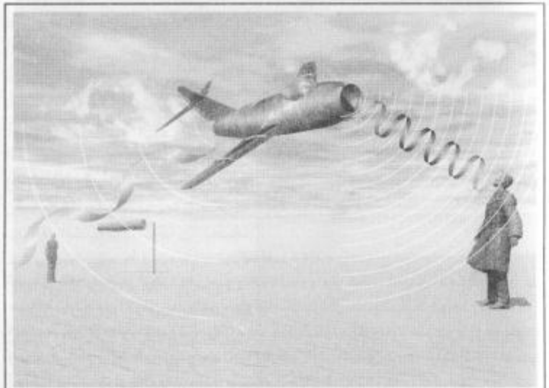


الشكل (٣.٣)

لو كان الكون ثابتا (استاتيكيا) ولانهائيا في كل اتجاه، سينتهي كل خط للرؤية إلى نجم، وهذا سيجعل سماء الليل ناصعة كالشمس.

نلاحظ كلنا أن السماء تكون مظلمة ليلا، وهذه ملاحظة مهمة جدا. فهي تدل على أن الكون لا يمكن أن يكون قد وجد دائما وهو بالحالة التي نراها الآن. ولابد من أن شيئا قد حدث في الماضي ليجعل النجوم تضيء منذ زمن محدود، الأمر الذي يعني أن الضوء الذي يخرج من النجوم البعيدة جدا لم يمض عليه بعد الوقت الكافي لأن يصلنا. وسيفسر هذا السبب في أن السماء لا تتوهج ليلا في كل اتجاه.

لو كانت النجوم تظل تقبع دائما في مكانها لا غير، لماذا حدث أن أضاءت فجأة منذ بلايين معدودة من السنين؟ أي ساعة تلك التي أخبرت النجوم فيها بأنها قد حان لها الوقت حتى تسطع؟ وكما سبق أن رأينا، فإن هذا الأمر قد حير الفلاسفة، بما يشبه كثيرا حيرة إيمانويل كانت. فقد كانوا يعتقدون أن الكون قد ظل موجودا أبدا. أما بالنسبة لمعظم الأفراد، فقد كان الأمر متسقا مع فكرة أن الكون قد خلق فقط منذ آلاف معدودة من السنين وهو يشبه كثيرا ما هو عليه الآن.



ظاهرة دوبلر

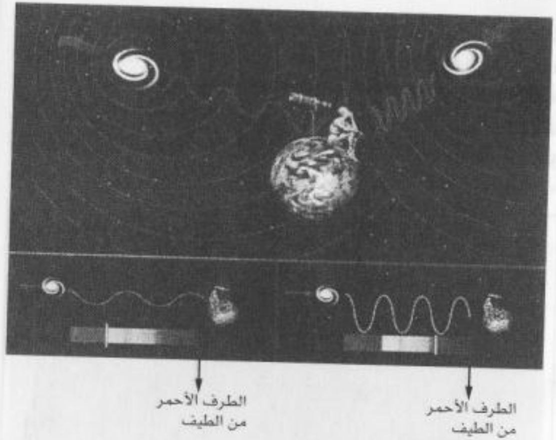
العلاقة بين السرعة وطول الموجة تسمى ظاهرة دوبلر، وهي خبرة نمر بها في حياتنا اليومية.

عندما نستمع إلى طائرة تمر عبر رؤوسنا، فإن محركها وهي تقترب يكون له طبقة صوت أعلى. وعندما تمر الطائرة وتختفي، يكون لصوتها طبقة أكثر انخفاضا.

تناظر الطبقة الأعلى موجات صوت لها طول موجة أقصر (طول الموجة هو المسافة بين ذروة إحدى الموجات وهي الذروة التالية) وتردد أعلى (التردد هو عدد الموجات في الثانية).

وسبب ذلك هو أنه أثناء حركة الطائرة في اتجاهنا ستكون أكثر قربا منا، وهي تبث ذروة الموجة التالية، الأمر الذي يقلل المسافة بين ذروات الموجات.

وبمثل ذلك، عندما تتحرك الطائرة بعيدا تزيد أطوال الموجات وتقل طبقة الصوت التي نسمعها.



الشكل (٤-٣):
تصدق ظاهرة دوبلر أيضا على موجات الضوء، ولو كانت إحدى المجرات تظل على مسافة ثابتة من الأرض، ستظهر خطوط متميزة في الطيف عند مواضع طبيعية أو قياسية. أما إذا كانت المجرة تتحرك بعيدا عنا، فستبدو الموجات أكثر طولا أو ممطوطة، وسوف تتزحزح الخطوط المتميزة تجاه الأحمر (إلى اليمين). وإذا كانت المجرة تتحرك تجاهنا فستبدو الموجات منضغطة، وستزاح الخطوط إزاحة زرقاء (لليسار).

على أنه بدأت تظهر تناقضات مع هذه الفكرة أدت إليها الأرصاد التي أجراها فستو سليفر و إدوين هابل في العقد الثاني من القرن العشرين. اكتشف هابل في ١٩٢٣ أن الكثير من بقع الضوء الشاحبة التي تسمى السدم هي في الحقيقة مجرات أخرى، تجمعات هائلة من نجوم مثل شمسنا ولكنها على مسافة كبيرة. وحتى تظهر هكذا بالغة الصغر والشحوب، يجب أن تكون على مسافة بعد كبيرة جدا، حتى أن الضوء الخارج منها يستغرق للوصول إلينا ملايين السنين أو حتى بلايينها. يدل هذا على أن بداية الكون لا يمكن أن تكون منذ مجرد آلاف معدودة من السنين.

إلا أن هابل اكتشف أمرا ثانيا هو حتى أكثر روعة. عرف الفلكيون أنهم عندما يحللون الضوء الآتي من المجرات الأخرى، يصبح في إمكانهم قياس ما إذا كانت تتحرك تجاهنا أو بعيدا عنا (الشكل ٤-٣). ولدهشتهم وجدوا أن كل المجرات تقريبا تتحرك متباعدة، وبالإضافة فإنها كلما زاد بعدها عنا زادت سرعة تحركها بعيدا. وهابل هو الذي أدرك الدلالات المثيرة لهذا الاكتشاف: فعلى المقياس الكبير تتحرك كل مجرة بعيدا عن كل مجرة أخرى، فالكون يتمدد (الشكل ٤-٣).

الترتيب الزاسي لاكتشافات سليفر وهابل بين ١٩١٠ و ١٩٣٠.

١٩١٢ : قاس سليفر الضوء من أربعة سدم، ووجد إزاحة حمراء في ثلاثة منها. ولكن أندروميدا لها إزاحة زرقاء. وكان تفسيره لذلك هو أن أندروميدا تتحرك بعيدا عنا.

١٩١٢ ـ ١٩١٤: قاس سليفر اثني عشر سديما آخر، كان لها كلها إزاحة حمراء فيما عدا واحدا منها.

١٩١٤ : طرح سليفر نتائجه على الجمعية الفلكية الأمريكية، وسمع هابل ما طرحه.

١٩١٨: بدأ هابل بحثه عن السدم.

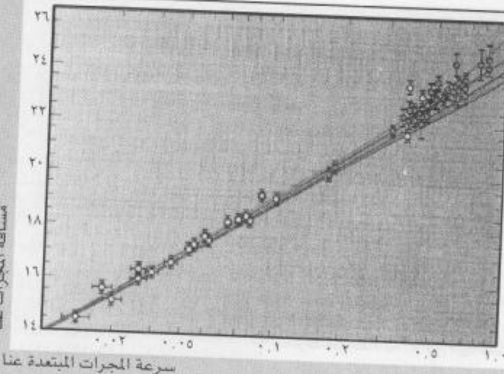
١٩٢٣ : حدد هابل أن السدم اللولبية (بما فيها أندروميدا) هي مجرات أخرى.

١٩١٤ ـ ١٩٢٥: واصل سليفر وآخرون قياس إزاحات دوبلر، ووصلوا بأعدادهم في ١٩٢٥ إلى وجود ٤٣ إزاحة حمراء مقابل إزاحتين اثنتين زرقاوين.

١٩٢٩: واصل هابل وملتون هيوماسون قياس إزاحات دوبلر، ووجدا أنه ـ على المدى الكبير ـ يبدو أن كل المجرات ترتد إحداها بعيدا عن الأخرى، وأعلنا في ١٩٢٩ اكتشافهما بأن الكون يتمدد.

يعد اكتشاف تمدد الكون إحدى الثورات الفكرية الكبرى في القرن العشرين، وقد ظهر على نحو مفاجئ تماما، وغير بالكامل من النقاش حول أصل الكون. فإذا كانت المجرات تتحرك متباعدة فلابد من أنها كانت في الماضي أكثر تقاربا معا، ونستطيع من معدل سرعة التمدد الحالية، أن نقدر أن المجرات كانت، ولابد، متقاربة حقا أقصى القرب منذ عشرة إلى خمسة عشر بليون عام، وكما وصفنا في الفصل السابق تمكنت أنا وروجر بنروز من أن نوضح أن نظرية النسبية العامة لأينشتين تدل على أن الكون والزمان أنفسهما لابد أن كان لهما بداية بانفجار هائل. وهذا هو ما يفسر السبب في أن السماء تكون ليلا مظلمة: فلا يمكن لأي نجم أن يكون قد ظل ينصع لأطول من عشرة بلايين إلى خمسة عشر بليونا من الأعوام، أي منذ الانفجار الكبير.

قد تعودنا على فكرة أن الأحداث تسببها أحداث سابقة، وهذه بدورها قد سببتها أحداث أسبق منها، فهناك سلسلة من السببية تمتد وراء في الماضي. ولكن دعنا نفترض أن هذه السلسلة لها بداية. ولنفترض أن هناك بداية للكون. كيف



الشكل (٥ ـ ٣) قانون هابل

اكتشف إدوين هابل في عشرينيات القرن العشرين، عن طريق تحليل الضوء الآتي من المجرات الأخرى، أن كل المجرات تقريبا تبتعد عنا بسرعة س (V) تتناسب مع مسافة بعدها عن الأرض، م (R) بحيث إن س= هـ × م (V=H × R).

هذه الملاحظة المهمة التي تعرف بقانون هابل قد أثبتت أن الكون يتمدد، وأن ثابت هابل هـ (H) ينظم سرعة التمدد.

الرسم البياني أعلاه يبين أرصادا حديثة للإزاحة الحمراء للمجرات، بما يثبت قانون هابل حتى مسافات شاسعة بعيدة هنا.

يوجد انحناء هين في الرسم لأعلى عند المسافات الكبيرة، وهو يدل على أن الانحناء يتزايد سرعة، وهذا أمر ربما ينتج عن طاقة فراغ vacuum.

حدثت «هذه البداية»؟ هذا سؤال يود الكثيرون من العلماء ألا يوجهوه، وقد حاولوا تجنبه، إما بأن يزعموا مثل الروس (السوفييت) أن الكون لم تكن له بداية، أو بأن يؤكدوا على أن أصل الكون أمر لا يدخل في نطاق العلم وإنما ينتمي إلى الميتافيزيقا. وفي رأيي أن هذا موقف ينبغي ألا يتخذه أي عالم حقيقي. ذلك أنه إذا كانت قوانين العلم تتوقف عند بداية الكون، أفلا يمكن أيضا أن تكف عن العمل في أوقات أخرى؟ القانون لا يكون قانونا إذا كان لا يصلح للعمل إلا أحيانا. «فيجب علينا أن نحاول فهم بدء الكون على أساس العلم. وربما تكون هذه مهمة تتجاوز قدراتنا، إلا أنه ينبغي على الأقل أن نقوم بالمحاولة».

ـ مفردة الانفجار الكبير. ـ عصر بلانك. قوانين فيزياء مجهولة وغريبة.	
ـ حقبة النظرية الموحدة الكبرى. توازن المادة/ مضاد المادة يحسم ميزان المادة.	10^{-43} ثانية
ـ العصر الإلكتروني الضعيف تحكمه الكواركات ومضادات الكواركات.	10^{-35} ثانية
ـ عصر الهادرون واللبتون. الكواركات تتقيد في تشكيل البروتونات والنيوترونات والميزونات والباريونات.	10^{-10} ثانية
ـ البروتونات والنيوترونات تتحد كنوى هيدروجين وهيليوم وليثيوم وديتريوم.	ثانية واحدة
ـ اقتران المادة والإشعاع معا وتشكيل أول نوى مستقرة.	٣ دقائق
ـ اقتران المادة والطاقة. الكون الكثيف بصريا يصبح شفافا لإشعاع الخلفية الكنوني.	٣٠٠ ألف سنة
ـ تشكل الاحتشادات العنقودية للمادة كوازارات ونجوم ومجرات أولية. تأخذ النجوم في تكوين نوى أثقل.	١٠٠٠ مليون سنة
ـ تتكون مجرات جديدة بها منظومات شمسية تتكثف حول النجوم. تترابط الذرات لتكون الجزيئات المركبة لأشكال الحياة.	١٥٠٠ مليون سنة



الانفجار الكبير الساخن

إذا كانت نظرية النسبية العامة صحيحة، يكون الكون قد بدأ بحرارة وكثافة لانهائيتين عند مفردة الانفجار الكبير، ومع تمدد الكون، أخذت حرارة الإشعاع تقل. وعند زمن يقرب من جزء من مائة من الثانية بعد الانفجار الكبير، تكون درجة الحرارة قد وصلت إلى مائة بليون درجة، ويحوي الكون عندها في الغالب فوتونات وإلكترونات وجسيمات نيوترينو (جسيمات خفيفة أقصى الخفة). وكذلك الجسيمات المضادة لها، ومعها بعض بروتونات ونيوترونات. وخلال الدقائق الثلاث التالية يبرد الكون إلى حوالي بليون واحد من الدرجات، فتبدأ البروتونات والنيوترونات في الاتحاد لتشكل نوى هيليوم وهيدروجين وعناصر أخرى خفيفة.

بعد ذلك بمئات الآلاف من السنين تنخفض الحرارة إلى آلاف معدودة من الدرجات، وعندها تكون الإلكترونات قد أبطأت إلى الحد الذي تمسك عنده النوى الخفيفة بتلك الإلكترونات لتشكل الذرات. أما العناصر الأثقل التي صنعنا منها نحن، مثل الكربون والأكسجين، فهي لا تتشكل إلا بعد ذلك ببليون سنة نتيجة احتراق الهيليوم في مركز النجوم.

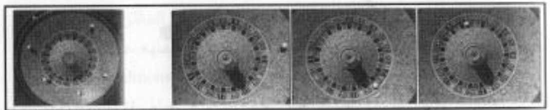
صورة وجود طور مبكر كثيف ساخن للكون طرحها لأول مرة العالم جورج جاموف ١٩٤٨، وذلك في ورقة بحث كتبها مع رالف ألفر، وردت بها نبوءة رائعة، وهي أن الإشعاع من هذا الطور المبكر الساخن جدا ينبغي أن يكون مازال موجودا الآن من حولنا. وقد تأكدت هذه النبوءة عندما رصد الفيزيائيان آرنو بنزياس و روبرت ويلسون إشعاع خلفية الكون الميكروويفية.

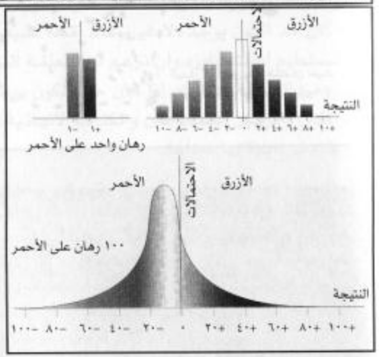
إذا كانت المبرهنات التي أثبتها بنروز هو وإياي قد أوضحت أن الكون لابد أن تكون له بداية، إلا أنها لم تعط الكثير من المعلومات حول طبيعة هذه البداية. تدل هذه المبرهنات على أن الكون بدأ بانفجار كبير، أي عند نقطة يكون فيها الكون بأسره، بكل ما فيه، مضغوطا في نقطة واحدة لها كثافة لانهائية. تنهار عند هذه النقطة نظرية النسبية العامة لأينشتين، وبالتالي لا يمكن استخدامها للتنبؤ بالطريقة التي بدأ بها الكون. وهكذا نجد أنفسنا وقد تركنا في وضع من الظاهر فيه أن مسألة أصل الكون تتجاوز مجال العلم.

ليس هذا بالاستنتاج الذي ينبغي أن يسعد به العلماء، وكما تبين من الفصلين الأول والثاني، فإن سبب انهيار النسبية العامة قرب الانفجار الكبير هو أنها لا تتضمن مبدأ عدم اليقين، ذلك العنصر العشوائي في نظرية الكم الذي اعترض عليه أينشتين على أساس أنه يشبه اللعب بالنرد؛ إلا أن هناك أدلة وافرة على وجود احتمالات لعدم اليقين هنا، كما في لعب النرد. في إمكاننا أن نتصور الكون على أنه كازينو قمار هائل، يُدحرَج فيه النرد أو تدور فيه عجلات الروليت في كل فرصة (الشكل ٦-٣). قد يظن المرء أن إدارته لكازينو هي عمل فيه حظ كثير جدا، لأنه يجازف فيها بأن يخسر نقودا في كل مرة يلقي فيها النرد أو تلف عجلة الروليت. ولكننا نجد أنه عند تنفيذ عدد كبير من المراهنات، يصبح لنتائج المكاسب والخسائر معدل متوسط «نستطيع» التنبؤ به، وإن كانت النتيجة لأي رهان بعينه لا يمكن التنبؤ بها (الشكل٧-٣). يعمل مديرو الكازينو على تأكيد أن يكون معدل متوسط الاحتمالات في صالحهم.

وهذا هو السبب في أن مديري الكازينو يكونون جد أثرياء. والفرصة الوحيدة لأن يكسب من يقامر ضدهم هي أن يراهن بكل نقوده في رميات معدودة للنرد أو لفات معدودة لعجلة الروليت.

الأمر كذلك في الكون، وعندما يصبح الكون كبيرا، كما هو عليه الآن، يكون هناك عدد كبير جدا لدحرجات النرد، ويصبح للنتيجة متوسط، للمرء أن يتنبأ به، وهذا هو السبب في أن القوانين الكلاسيكية تصلح للمنظومات الكبيرة، ولكن عندما يكون الكون صغيرا جدا، مثلما كان عليه في الانفجار الكبير، لا يكون هناك سوى عدد قليل من رميات النرد، ويكون مبدأ عدم اليقين مهما جدا.

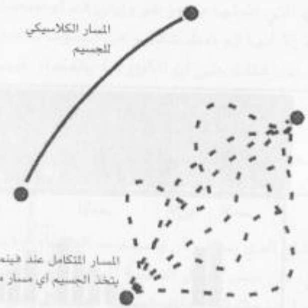




الشكل (٦-٣) (أعلى) والشكل (٧-٣) (إلى اليمين) إذا راهن مقامر على الأحمر لعدد كبير من دورات عجلة الروليت، يمكن لنا أن نتنبأ تنبؤا دقيقا إلى حد كبير بما سيعود عليه؛ لأن نتائج الدورات المفردة يصبح لها معدل متوسط. ومن الناحية الأخرى، فإن من المستحيل التنبؤ بنتيجة رهان واحد بعينه.

حيث إن دحرجة النرد تتواصل في الكون، فإن الكون لا يكون له تاريخ وحيد كما قد يظن المرء. وبدلا من ذلك، يكون للكون، فيما يجب، أي تاريخ ممكن، وكل تاريخ من هذه له احتماله الخاص به. ولابد من أن هناك تاريخا للكون يكسب فيه لاعبنا العالمي كل ميدالية ذهبية في الألعاب الأولمبية، وإن كان احتمال ذلك احتمالا صغيرا.

قد تبدو فكرة أن الكون له تواريخ متعددة كأنها رواية خيال علمي، ولكنها الآن مقبولة كحقيقة علمية. وقد صيغت في معادلة بواسطة ريتشارد فينمان، وهو عالم كان، معا، فيزيائيا عظيما وشخصية متميزة تماما.



حكايات فينمان

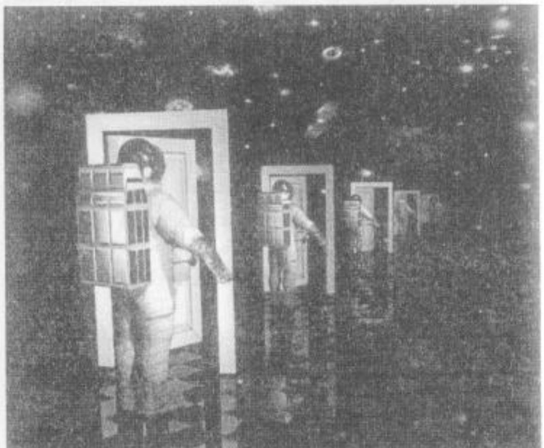
ولد ريتشارد فينمان ١٩١٨ في بروكلين بنيويورك، وأكمل دراسته للدكتوراه تحت إشراف جون هويلر في جامعة برينستون في ١٩٤٢. وبعدها بزمن قصير تم ضمه إلى مشروع مانهاتن، وهناك عرف بشخصيته الحيوية وفكاهاته العملية. كان يستمتع في معامل لوس الاموس باختراق خزانات الملفات السرية للغاية. كما عرف بأنه فيزيائي رائع، وأصبح من أعمدة المساهمين في نظرية القنبلة الذرية. وكان فضوله الدائم للعلم في الصميم من كيانه. ولم يكن هذا الفضول يقتصر على أنه محرك نجاحه العلمي لقد أدى به أيضا إلى العديد من الكشوفات المذهلة، مثل فك شفرة كتابات المايا الهيروغليفية.

في السنوات التي تلت الحرب العالمية الثانية وجد فينمان طريقة جديدة قوية للتفكير في ميكانيكا الكم، نال عنها جائزة نوبل في ١٩٦٥. وقد تحدى فيها الفرض الكلاسيكي الأساسي بأن كل جسيم له تاريخ واحد معين. وطرح بدلا من ذلك أن الجسيمات تتحرك من موضع للآخر خلال أي مسار ممكن في الزمكان. وربط فينمان كل مسار برقمين، أحدهما لحجم، أو سعة، الموجة، والآخر لطورها، أي ما إذا كانت عند ذروتها أو قرارها. تحسب احتمالات أن ينتقل جسيم من (أ) إلى (ب) من تجميع الموجات المصاحبة لأي مسار ممكن يمر خلال (أ) و (ب).

ومع ذلك، يبدو لنا في عالم الحياة اليومية أن الأجسام تتبع مسارا من مصدرها حتى وجهتها النهائية. ويتفق هذا مع فكرة التواريخ المتعددة عند فينمان (أو حاصل جمع التواريخ)، لأنه بالنسبة إلى الأجسام الكبيرة سنجد أن قاعدته، التي تخصص أرقاما لكل مسار، تؤكد أنه عند تجميع إسهامات كل المسارات فإنها كلها يلغي الواحد منها الآخر فيما عدا مسار واحد. فليس هناك إلا مسار واحد من ذلك العدد اللانهائي من المسارات هو الذي له أهميته فيما يتعلق بحركة الأجسام الماكروسكوبية، وهذا المسار، بالضبط، هو المسار الذي ينبثق من قوانين نيوتن الكلاسيكية للحركة.

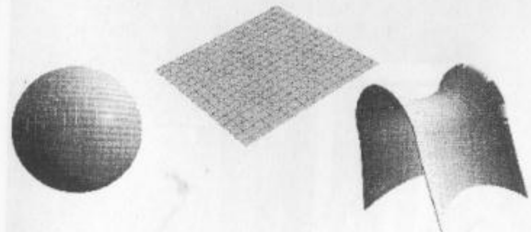
نحن نعمل الآن على توليف نظرية النسبية العامة لأينشتين مع فكرة فينمان عن التواريخ المتعددة، ليصبحا نظرية موحدة كاملة توصف كل ما يحدث في الكون. ستمكننا هذه النظرية الموحدة من أن نحسب كيف سينشأ الكون وذلك إذا عرفنا طريقة بدء التواريخ. على أن النظرية الموحدة لن تخبرنا في حد ذاتها بطريقة بدء الكون، أو ماذا كانت عليه حالته الابتدائية فنحن نحتاج من أجل ذلك لما يسمى بالظروف الحدية boundary conditions، أي القواعد التي تخبرنا بما يحدث عند حدود الكون، حواف المكان والزمان.

إذا كان حد الكون يوجد، لا غير، عند نقطة طبيعية من المكان والزمان، فإننا نستطيع أن نتجاوزه وأن نزعم أن المنطقة التي بعده هي جزء من الكون. ومن الناحية الأخرى إذا كان حد الكون يوجد عند حافة حادة، حيث المكان والزمان مضغوطان والكثافة لانهائية، سيكون من الصعب تعيين ظروف حدية لها معناها.



إذا كان حد الكون هو مجرد نقطة في الزمكان، فإننا نستطيع مواصلة مد الحدود.

على أنني أدركت أنا وزميلي جيم هارتل أن هناك إمكانا ثالثا، فمن الجائز أن الكون ليس له حد في المكان والزمان. سيبدو لأول وهلة أن هذا يتناقض مباشرة مع المبرهنات التي أثبتها أنا وبنروز، والتي أوضحت أن الكون لابد أن تكون له بداية، أي حد للزمان. إلا أن هناك نوعا آخر من الزمان، كما سبق أن أوضحت في الفصل الثاني، وهو الزمان التخيلي الذي يتعامد على الزمان العادي الواقعي الذي نحس بمروره. وتاريخ الكون في الزمان الواقعي يحدد تاريخه في الزمان التخيلي، والعكس بالعكس، ولكن نوعي التاريخ يمكن أن يختلفا جدا. وبوجه خاص، فإن الكون مما لا يلزم أن تكون له بداية أو نهاية في الزمان التخيلي. يسلك الزمان التخيلي ما يماثل تماما اتجاها آخر في المكان. وبالتالي، فإنه يمكن التفكير في تواريخ الكون في الزمان التخيلي كأسطح منحنية، هي مثل الكرة، أو مستوية، أو في شكل سرج، ولكنها أسطح لها أربعة أبعاد بدلا من بعدين (الشكل ٨ ـ ٣).



الشكل (٨-٣)
تواريخ الكون

إذا كانت تواريخ الكون تمضي إلى اللانهاية مثل السرج، ستكون لدينا مشكلة تحديد ما تكونه الظروف الحدية عند اللانهاية. وإذا كانت تواريخ الكون في الزمان التخيلي كلها أسطح مقفلة مثل سطح الأرض، لن يكون علينا مطلقا أن نحدد الظروف الحدية.

قوانين التطور والظروف الابتدائية

تصف قوانين الفيزياء كيف تتطور بالوقت حالة ابتدائية. كمثل لو قذفنا قطعة حجر في الهواء، فستصف لنا قوانين الجاذبية وصفا دقيقا الحركة التالية لقطعة الحجر.

ولكننا لا نستطيع أن نتنبأ من هذه القوانين بمكان وقوع الحجر فوق الأرض على وجه الحصر. وحتى نتنبأ بذلك لابد من أن نعرف أيضا سرعة واتجاه الحجر وهو يترك يدنا. وبكلمات أخرى لابد من أن نعرف الظروف الابتدائية ـ أي الظروف الحدية ـ لحركة الحجر.

يحاول علم الكون وصف تطور الكون كله باستخدام قوانين الفيزياء، ومن ثم يجب أن نسأل عما كانت عليه الظروف الابتدائية للكون التي ينبغي أن نطبق عليها هذه القوانين.

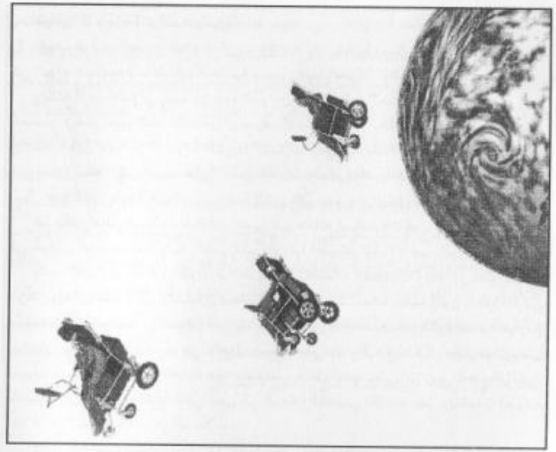
قد يكون للظروف الابتدائية أثر عميق في معالم أساسية للكون، بل وربما أثر حتى في خواص الجسيمات الأولية والقوى التي كان لها أهميتها لنشأة الحياة البيولوجية.

وأحد الافتراضات هو «ظرف اللاحدية» no boundary condition، أي افتراض أن الزمان والمكان محدودان، ويشكلان سطحا مغلقا بلا حد. تماما مثلما يكون سطح الأرض محدودا في حجمه، ولكنه بلا حد. يتأسس فرض اللاحدية على فكرة تعدد التواريخ لفينمان. ولكن تاريخ الجسيم في حاصل جمع فينمان، قد حل مكانه هنا زمكان كامل يمثل تاريخ الكون كله. ظرف اللاحدية هو، بالضبط، عامل القيد على التواريخ المحتملة للكون بالنسبة إلى تلك الزمكانات التي تكون في الزمان التخيلي بلا حد لها. وبكلمات أخرى، فإن ظرف الحدية للكون هو أنه بلا حد.

علماء الكونيات يبحثون حاليا ما إذا كان من المرجح بالنسبة إلى التشكلات الابتدائية، عندما يدعمها فرض اللاحدية، أن تتطور إلى كون مثل ذلك الذي نرصده، وربما صاحب ذلك أيضا دعمها بمحاجات المبدأ الإنساني الضعيف.

إذا كانت تواريخ الكون تمضي إلى اللانهائية، مثل السرج أو مثل سطح مستو، فسيكون لدينا مشكلة تعيين ما كانت عليه الظروف الحدية عند اللانهاية. ولكننا نستطيع أن نتجنب تماما أن يكون علينا أن نعين أي ظروف حدية إذا كانت تواريخ الكون في الزمان التخيلي أسطحا مغلقة، مثل سطح الأرض. فسطح الأرض ليس له أي حدود ولا أحرف، وليس لدينا أي تقارير يوثق بها عن تساقط الناس خارج الأرض.

إذا كانت تواريخ الكون في الزمان التخيلي هي حقا أسطح مغلقة، كما طرحنا أنا وهارتل، فإن هذا يكون له دلالات أساسية في الفلسفة، وفي تصورنا عن الكون الذي أتينا منه. سيكون الكون عندها مكتفيا ذاتيا بالكامل (وهو لا يحتاج لأي شيء من خارجه يدير زنبركا فيه ليعمل وبدلا من ذلك سيتحدد كل شيء فيه حسب قوانين العلم ورميات النرد من داخله). وربما بدا في ذلك تجاوز لفروض تقليدية، إلا أن هذا هو ما أفترضه أنا وكثيرون غيري من العلماء.



سطح الأرض ليس له أي حدود ولا أحرف. التقارير التي تتحدث عن أفراد يسقطون خارج الأرض هي فيما يعتقد تقارير فيها مبالغة.

ولكن، حتى ولو كان الظرف الحدي للكون هو أنه بلا حد، فإنه لن يكون لديه تاريخ وحيد لا غير. سيكون لديه تواريخ عديدة كما طرح فينمان، وسيكون هناك تاريخ في الزمان التخيلي يناظر كل سطح مغلق ممكن، وكل تاريخ في الزمان التخيلي سوف يحدد تاريخا في الزمان الواقعي. وبالتالي سيكون لدينا وفرة فائقة من الأكوان الممكنة. ما الذي يتخير بالذات الكون الذي نعيش فيه من بين سائر الأكوان الممكنة كلها؟ إحدى النقاط المهمة التي يمكن لنا أن نلاحظها هي أن الكثير من التواريخ الممكنة للكون لن تمر بالسلسلة المتعاقبة التي تتشكل فيها المجرات والنجوم، وهي سلسلة ضرورية لنشأتنا نحن. وإذا كان من الجائز إمكان تطور كائنات ذكية من غير مجرات ونجوم، إلا أن هذا يبدو من غير المرجح. ومن ثم، فإن حقيقة أننا موجودون ككائنات نفسها تتساءل «لماذا يكون الكون بما هو عليه؟» لهي قيد على التاريخ الذي نعيش فيه. فهي تتضمن أنه واحد من التواريخ قليلة العدد

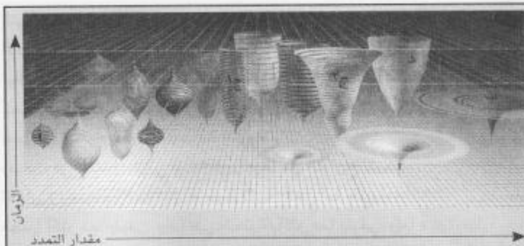
التي فيها مجرات ونجوم. وهذا مثل مما يسمى المبدأ الإنساني. ويقول المبدأ الإنساني إن الكون يجب أن يكون تقريبا كما نراه، لأنه لو كان مختلفا لما وجد أحد ليلاحظه (الشكل ٣-٩). يكره علماء كثيرون المبدأ الإنساني لأنه يبدو غامضا نوعا، كما لا تظهر له قدرة كبيرة على التنبؤ. إلا أن المبدأ الإنساني يمكن أن تعطى له صياغة دقيقة، ويبدو أنه مبدأ أساسي عند تناول أصل الكون. تتيح نظرية - إم التي وصفت في الفصل الثاني عددا كبيرا جدا من التواريخ الممكنة للكون. ومعظم هذه التواريخ ليست ملائمة لنشأة حياة ذكية؛ فهي إما خاوية، أو تبقى لزمن قصير قصرا أكثر مما ينبغي، وإما هي منحنية بأكثر مما ينبغي، وإما فيها خطأ ببعض طريقة أخرى. ومع ذلك فإنه حسب فكرة ريتشارد فينمان عن التواريخ المتعددة، فإن هذه التواريخ غير المأهولة قد يكون لها احتمال كبير نوعا.

المبدأ الإنساني

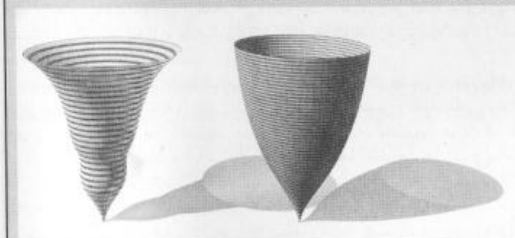
يقول المبدأ الإنساني على وجه التقريب أن السبب في أننا نرى الكون بما هو عليه، هو في جزء منه أننا موجودون. وهذا منظور يناقض تماما ما نحلم به من نظرية موحدة لها قدرة تنبئية كاملة، وتكون قوانين الطبيعة فيها كاملة، ويكون الكون بما هو عليه لأنه ما كان يمكن أن يكون على غير ذلك. هناك عدد من النسخ المختلفة للمبدأ الإنساني تتراوح بين تلك التي يبلغ من ضعف المبدأ فيها أن يصبح مبتذلا، وتلك التي يبلغ من قوة المبدأ فيها أن يصبح سخيفا. وعلى الرغم من أن معظم العلماء يعزفون عن اتخاذ شكل قوي من المبدأ الإنساني، إلا أنه لا يوجد سوى قلة من الأفراد ينازعون في وجود نفع في بعض حجج المبدأ الإنساني الضعيف.

يتوصل المبدأ الإنساني الضعيف إلى أن يفسر لنا ما هو ذلك العصر أو الجزء الكوني الذي يمكن لنا أن نسكن فيه من بين شتى ما هو ممكن من عصور وأجزاء الكون. وكمثل، فإن السبب في أن الانفجار الكبير قد حدث منذ عشرة بلايين عام تقريبا هو أنه لابد من أن يكون الكون طويل العمر بما يكفي لأن تكمل بعض النجوم تطورها، حتى تنتج عناصر مثل الأكسجين والكربون اللذين صنعنا منهما. كما لابد من أن يكون قصير العمر بحيث لا يزال فيه بعض نجوم تمد بالطاقة الكافية لاستدامة الحياة.

نستطيع داخل إطار فرض اللاحدية أن نستخدم قاعدة فينمان لتخصيص أرقام لكل تاريخ للكون، حتى نعرف أي خواص الكون هي التي يرجح أن تحدث. وفي هذا السياق، يتحقق المبدأ الإنساني بأن من المطلوب أن تحوي هذه التواريخ حياة ذكية. وبالطبع سيشعر المرء بسعادة أكبر بالنسبة للمبدأ الإنساني لو أمكن لنا أن نوضح أنه، فيما يرجح، هناك عدد من تشكلات ابتدائية مختلفة للكون، تتطور لتنتج كونا مثل الكون الذي نرصده، وسيتضمن هذا أن الحالة الابتدائية لهذا الجزء من الكون الذي نسكنه لا يلزم أن يتم انتقاؤها بحذر كثير.



الشكل (٣.٩) (أعلى):
يوجد في أقصى يسار الشكل التوضيحي تلك الأكوان (أ) التي تقلصت على نفسها لتصبح مغلقة. ويوجد في أقصى اليمين الأكوان المفتوحة (ب) التي ستواصل التمدد إلى الأبد.
أما تلك الأكوان الحرجة التي تتوازن بين أن تعود للتهاوي على نفسها وبين أن تواصل التمدد، مثل (ج١) أو أكوان التضخم المزدوج (ج٢). فهذه أكوان قد تسكن فيها حياة ذكية. وكوننا (د) موزون ليواصل التمدد إلى الآن.
الشكل بأسفل: يمكن أن تسكن حياة ذكية في كون التضخم المزدوج (ج٢).
الكون الخاص بنا (د) يواصل تضخمه حتى الآن.



الحقيقة أنه لا يهم حقا ما قد يكونه عدد التواريخ التي لا تحوي كائنات ذكية. فنحن مهتمون فقط بالمجموعة الفرعية من التواريخ التي تنشأ فيها حياة ذكية، ولا يلزم أن يكون لهذه الحياة الذكية أي شبه بالبشر، فيكفي لهذا الغرض أن تكون حتى من كائنات صغيرة غريبة خضراء. بل والحقيقة أن كائنات كهذه قد تكون هي الأفضل، فالجنس البشري ليس لديه سجل جيد جدا من السلوك الذكي.

حتى نرى مثلا على قوة المبدأ الإنساني دعنا ننظر أمر عدد من الاتجاهات في المكان. من أمور الخبرة الشائعة أننا نعيش في مكان له ثلاثة أبعاد، ويعني هذا أننا نستطيع أن نمثل موقع أي نقطة في الفضاء بثلاثة أرقام، تكون مثلا خط العرض والطول والارتفاع فوق مستوى سطح البحر. ولكن لماذا يكون للمكان ثلاثة أبعاد؟ لماذا لا يكون له بعدان أو أربعة، أو بعض عدد آخر من الأبعاد كما في روايات الخيال العلمي؟ والمكان في نظرية . إم له تسعة أو عشرة أبعاد، وإن كان من المعتقد أن ستة أو سبعة أبعاد منها تكون ملفوفة إلى حجم صغير جدا، لتترك ثلاثة أبعاد كبيرة ومسطحة تقريبا (الشكل ١٠-٣)



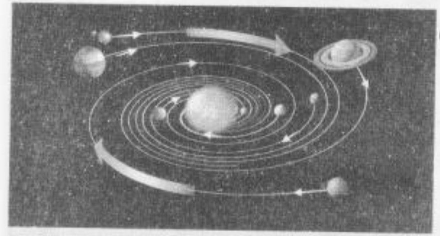




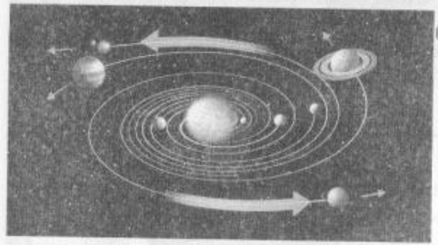
الشكل (١٠ - ٣)
تبدو ماصة الشرب عن بعد كأنها خط له بعد واحد.

لماذا لا نعيش في تاريخ يكون فيه ثمانية أبعاد ملفوفة لحجم صغير، تاركة لنا بعدين فقط نلاحظهما؟ لو كان هناك حيوان ببعدين فقط سيجد أن هضم الطعام مهمة بالغة الصعوبة. فلو كان لديه قناة هضمية تمر مباشرة من خلاله، لشطرت الحيوان إلى قسمين، ويخر الكائن المسكين مفككا إلى جزأين. وبالتالي فإن اتجاهين مسطحين لن يكونا كافيين لأي شيء معقد مثل الحياة الذكية.

ومن الجانب الأخر، لو كان هناك أربعة اتجاهات أو أكثر هي تقريبا مسطحة، ستزداد قوة الجاذبية بين أي جسمين بسرعة أكبر، عندما يقترب أحدهما من الأخر. وسيعني هذا أن الكواكب لن يكون لها مدارات مستقرة حول شموسها، فهي إما سوف تتهاوى داخل الشمس (الشكل ١١ـ ٣أ) أوتفر لتبتعد خارجا إلى الظلام والبرودة (الشكل ١١ ـ ب٣).



الشكل (١١ ـ ٣أ)

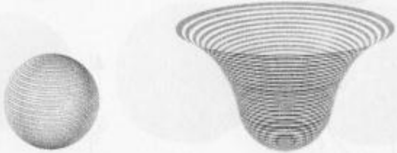


الشكل (١١ ـ ب٣)

وبالمثل فإن مدارات الإلكترونات في الذرة لن تكون مستقرة، وبالتالي، فإن المادة كما نعرفها لن تكون موجودة. وإذن، فعلى الرغم من أن فكرة التواريخ المتعددة تسمح بوجود أي عدد من اتجاهات تكون مسطحة تقريبا، إلا أنه لن يحوي حياة ذكية إلا التواريخ التي لها ثلاثة اتجاهات مسطحة، فهذه التواريخ وحدها هي التي يكون فيها من يسأل، لماذا يكون للمكان ثلاثة أبعاد؟.

أبسط تاريخ للكون في الزمان التخيلي هو الكرة الدائرية، مثل سطح الأرض، إلا أن به بعدين آخرين (الشكل ١٢، ٣)، وهو يحدد تاريخا للكون في الزمان الواقعي الذي نخبره، حيث الكون فيه متماثل عند كل نقطة في المكان ويتمدد في

الزمان، فهو كون يشبه من هذه النواحي الكون الذي نعيش فيه، إلا أن معدل سرعة التمدد يكون معدلا سريعا جدا، ويواصل أن يزداد سرعة. ويسمى التمدد الذي تزيد سرعة عجلته هكذا بأنه تضخم، لأنه يشبه الطريقة التى ترتفع بها الأسعار لأعلى وأعلى بمعدل يتزايد أبدا.

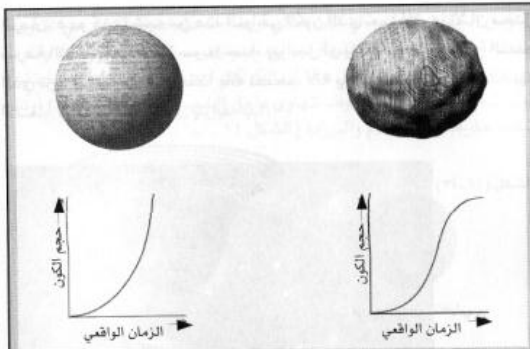


الشكل (١٢، ٣)

أبسط تاريخ للزمان التخيلي هو الكرة. وهذا يحدد تاريخا في الزمان الواقعي يتمدد على نحو تضخمي.

ينظر عامة إلى تضخم الأسعار على أنه أمر سيئ، أما في حالة الكون، فيكون التضخم مفيدا جدا. يؤدي هذا القدر الكبير من التمدد إلى تسوية أي تكتلات أو بروزات قد توجد في الكون المبكر، والكون أثناء تمدده يقترض طاقة من المجال الجذبوي لتشكل المزيد من المادة. وتتوازن الطاقة الإيجابية للمادة بالضبط مع الطاقة الجذبوية السلبية، وبالتالي تكون الطاقة الكلية صفرا. وعندما يتضاعف الكون حجما ستتضاعف معا المادة ـ هي والطاقات الجذبوية. وبالتالي سيظل حاصل ضرب ٢ × الصفر هو الصفر. كم يتمنى المرء لو كان عالم البنوك بسيطا هكذا.

لو كان تاريخ الكون في الزمان التخيلي كرة مستديرة إلى حد الكمال، لكان التاريخ، المناظر في الزمان الواقعي، هو كون يظل يتمدد أبدا بطريقة تضخمية. ولن تستطيع المادة أثناء تضخم الكون أن تتهاوى معا لتشكل المجرات والنجوم، ولن تستطيع الحياة أن تنشأ، ناهيك عن حياة ذكية مثلنا. ومن ثم، فعلى الرغم من أن تواريخ الكون في الزمان التخيلي التي تكون دوائر مستديرة الى حد الكمال هي أمر تسمح به فكرة التواريخ المتعددة، إلا أنها ليست بذات أهمية كبيرة. على أن تواريخ الزمان المسطحة هونا عند القطب الجنوبي للكرات هي الأهم كثيرا فيما يتعلق بالموضوع (الشكل ١٣ـ ٣).



الشكل (٣،١٣)
الكون التضخمي

في نموذج الانفجار الكبير الساخن، لا يوجد في الكون المبكر وقت يكفي لأن تسري الحرارة من منطقة إلى أخرى. ومع ذلك فنحن نلاحظ أنه بصرف النظر عن الاتجاه الذي ننظر فيه، تكون حرارة الاشعاع الميكروويفي للخلفية حرارة متماثلة. ويعني هذا أن حالة الكون الابتدائية لا بد أنها كان لها بالضبط درجة الحرارة نفسها في كل مكان.

في المحاولة للعثور على نموذج يمكن فيه أن تتطور أشكال ابتدائية كثيرة إلى شيء يشبه الكون الحالي، كان مما طرح أن الكون المبكر ربما مر بفترة من تمدد سريع جدا يقال عنه إنه تضخمي، بمعنى أنه يحدث بمعدل سرعة يتزايد أبدا، بدلا مما نرصده الآن من تناقص معدل سرعة التمدد. وهذا الطور التضخمي يمكن أن يوفر تفسيرا لمشكلة السبب في أن الكون يبدو متماثلا في كل اتجاه، لأنه سيكون هناك هكذا الوقت الكافي لأن ينتقل الضوء من منطقة إلى أخرى في الكون المبكر.

في الزمان التخيلي، يكون التاريخ المناظر لكون يواصل التمدد للأبد بطريقة تضخمية هو كرة دائرية إلى حد الكمال. أما في كوننا نحن، فقد أخذ التمدد التضخمي يتباطأ بعد كسر من الثانية، فأمكن للمجرات أن تتشكل. أما في الزمان التخيلي فإن هذا يعني أن تاريخ كوننا هو كرة بها تسطيح هين للقطب الجنوبي.

سنجد في هذه الحالة أن التاريخ المناظر في الزمن الواقعي سوف يتمدد أولا بأسلوب تضخمي يتزايد بعجلة تتسارع. ولكن التمدد يأخذ بعدها في الإبطاء وتستطيع المجرات أن تتكون. وحتى يمكن للحياة الذكية أن تنشأ، يجب أن يكون

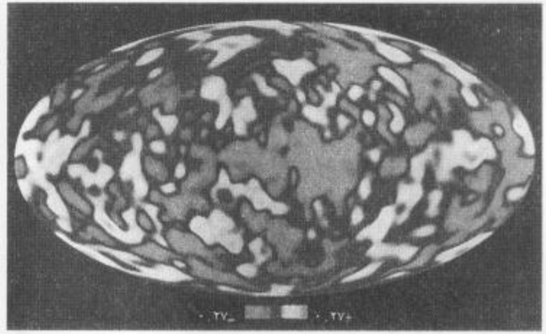
تسطيح القطب الجنوبي هينا جدا. هذا أن الكون سيتمدد في البداية بمقدار هائل. سجل الرقم القياسي للتضخم النقدي في ألمانيا بين الحربين العالميتين، عندما ارتفعت الأسعار لبلايين المرات. أما مقدار التضخم، الذي لابد أنه حدث في الكون، فيصل على الأقل إلى بليون بليون بليون مثل لذلك.



الشكل (٣.١٤)
التواريخ المحتملة وغير المحتملة

التواريخ الناعمة مثل (أ) هي أكثر احتمالا ولكن لا يوجد منها إلا عدد قليل. على الرغم من أن التواريخ الخشنة هونا مثل (ب) و(ج) تكون أقل احتمالا، إلا أن هناك عددا كبيرا منها حيث إن التواريخ المرجحة للكون سيكون فيها انحرافات صغيرة عن النعومة.

ينتج عن مبدأ عدم اليقين، أنه لن يكون هناك تاريخ واحد فقط للكون الذي يحتوي على حياة ذكية. وبدلا من ذلك ستكون التواريخ في الزمان التخيلي عائلة بأكملها من كرات مشوهة قليلا، تقابل كل كرة منها تاريخا في الزمان الواقعي حيث الكون يتضخم لزمن طويل ولكن ليس إلى ما لا نهاية. يمكننا إذن أن نتساءل: أي من هذه التواريخ المتاحة هو الأكثر احتمالا. ثبت في النهاية أن التواريخ الأكثر احتمالا ليست ناعمة تماما، بل لها نتوءات وانخفاضات دقيقة (الشكل ٣،١٤). والحقيقة أن ما يوجد من تموجات على التواريخ الأكثر احتمالا لهي تموجات صغيرة جدا. ويصل مقدار الانحراف عن النعومة إلى واحد من المائة ألف. وعلى كل، فعلى الرغم من أنها انحرافات صغيرة جدا، إلا أنه قد أمكن لنا أن نرصدها كتباينات صغيرة في موجات الميكروويف التي تأتينا من مختلف الاتجاهات في الفضاء. تم في ١٩٨٩ إطلاق القمر الصناعي (كوب) أو مستكشف الخلفية الكونية، فرسم خريطة للسماء بموجات الميكروويف.



خريطة السماء كاملة كما صنعها القمر الصناعي كوب مبينا الدليل على تجعدات الزمان.

تدل الظلال اللونية المختلفة في الخريطة على درجات الحرارة المختلفة، ولكن مدى هذا الاختلاف هو كله بما يقرب فقط من عشرة أجزاء من الألف من الدرجة الواحدة. على أن هذا التباين بين مناطق الكون المبكر المختلفة، فيه الكفاية لوجود شد جذبوي إضافي بالمناطق الأكثر كثافة، يجعلها تتوقف في النهاية عن التمدد، ثم يجعلها تتقلص ثانية بتأثير جاذبيتها الخاصة بها لتشكل مجرات ونجوما. وبالتالي، فإن خريطة القمر الصناعي كوب هي من حيث المبدأ تشكل على الأقل طبعة التصميم الزرقاء (*) لكل البنى التي في الكون.

ماذا سيكون في المستقبل سلوك أكثر التواريخ احتمالا للكون والتي تتوافق مع ظهور كائنات حية؟ يبدو أن هناك احتمالات مختلفة، بما يعتمد على كمية المادة التي في الكون. إذا كانت كمية المادة أكثر من كمية حرجة معينة، سوف يؤدي الشد الجذبوي بين المجرات إلى أن يبطئ من سرعتها ويوقفها في النهاية عن أن تحلق متباعدة، ثم تأخذ المجرات بعدها في التهاوي، إحداها تجاه الأخرى، وتنضم كلها معا في انسحاق كبير تكون فيه نهاية الكون في الزمان الواقعي.

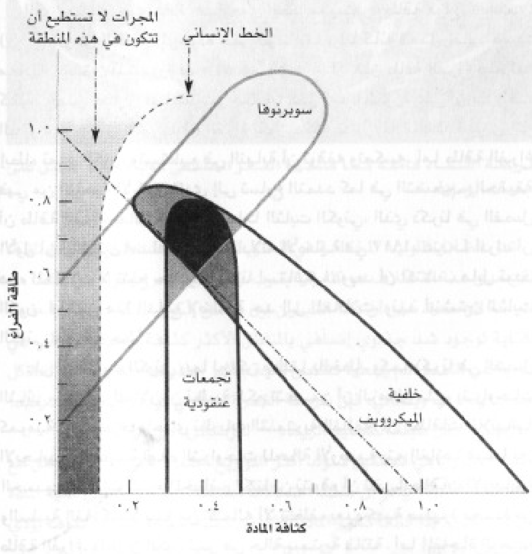
(*) إشارة إلى الرسم التصميمي الذي يضعه المهندسون على ورق خاص أزرق ليتم تنفيذ التصميم حسب الرسم (المترجم).

وإذا كانت كثافة الكون أقل من القيمة الحرجة، فستكون الجاذبية أضعف من أن توقف المجرات عن تحليقها متباعدة إلى الأبد. ستتلاشى النجوم كلها محترقة، ويصبح الكون أكثر خواء وبرودا على نحو متزايد. وبالتالي فإن الأشياء ستأتي مرة أخرى لنهايتها، ولكن بأسلوب أقل درامية. وسيظل الكون في كلتا الحالتين باقيا لفترة أخرى لها قدرها تصل إلى بضعة بلايين من السنين.

الكون مثلما يحوي مادة، قد يحوي أيضا ما يسمى «طاقة فراغ» (vacuum energy)، وهي الطاقة الموجودة حتى فيما يبدو لنا كأنه فضاء خاو. حسب معادلة أينشتين المشهورة ط = ك س٢ ($E = mc^2$)، فإن طاقة الفراغ هذه لها كتلة. ويعني هذا أن لها تأثيرا جذبويا على تمدد الكون. على أن ما يلفت النظر حقا هو أن تأثير طاقة الفراغ يكون عكس تأثير المادة. فالمادة تؤدي إلى إبطاء تمدد الكون، وتستطيع في النهاية أن توقفه وتعكسه. أما طاقة الفراغ فهي من الناحية الأخرى تؤدي إلى تسارع التمدد كما في التضخم. والحقيقة أن طاقة الفراغ يماثل مفعولها تماما الثابت الكوني، الذي ذكرنا في الفصل الأول أن أينشتين أضافه إلى معادلاته الأصلية في ١٩١٧، عندما أدرك أن هذه المعادلات لا تتيح حلا يمثل كونا استاتيكيا. وبعد أن اكتشف هابل تمدد الكون، اختفى هذا الدافع لإضافة حد إلى المعادلات، ونبذ أينشتين الثابت الكوني على أنه خطأ.

على أن الثابت الكوني ربما لم يكن مطلقا بالخطأ. وكما ذكرنا في الفصل الثاني، نحن ندرك الآن أن نظرية الكم تتضمن أن الزمكان مليء بتراوحات كمومية. وسنجد في إحدى نظريات السمترية الفائقة، أن الطاقات اللانهائية الإيجابية والسلبية لهذه التراوحات للحالة الأرضية يتم إلغاؤها فيما بين الجسيمات ذات البرم المختلف، لكننا لن نتوقع أن تلغى الطاقات الإيجابية والسلبية إلغاء كاملا يبلغ من اكتماله ألا تتخلف بعده كمية صغيرة محددة من طاقة الفراغ، ذلك أن الكون ليس في حالة سمترية فائقة. أما المفاجأة الوحيدة فهي أن طاقة الفراغ تقترب أشد الاقتراب من الصفر، حتى أنها لم تكن واضحة لبعض زمن مضى. ولعل هذا فيه مثل آخر للمبدأ الإنساني، فالتاريخ الذي تكون له طاقة فراغ أكبر ما كان ليشكل المجرات، ومن ثم ما كان ليحوي كائنات تستطيع أن تسأل ذلك السؤال، «لماذا تكون لطاقة الفراغ القيمة التي نلاحظها؟».

نحن نستطيع أن نحاول تحديد مقادير المادة وطاقة الفراغ في الكون، وذلك من ملاحظات مختلفة. ونستطيع أن نبين النتائج في رسم بياني حيث تكون كثافة المادة في الاتجاه الأفقي وطاقة الفراغ في الاتجاه الرأسي. وهناك خط متقطع يبين حد المنطقة التي يمكن أن تنشأ فيها حياة ذكية (الشكل ١٥-٣).



الشكل (١٥ - ٣)

بتجميع ملاحظاتنا عن السوبرنوفات البعيدة، وإشعاع خلفية الكون الميكروويفية، وتوزيع المادة في الكون، يمكننا أن نقدر تقديرا صحيحا إلى حد كبير طاقة الفراغ وكثافة المادة في الكون.

«ربما يتحدد مكاني داخل قشرة لجوزة،

ولكني أعد نفسي ملكا لمكان بلا حدود».

(شكسبير، هاملت، الفصل ٢، المشهد٢).



ملاحظاتنا عن السوبرنوفات، والاحتشاد العنقودي للأجرام، والخلفية الميكروويفية، يحدد كل منها مناطق في هذا الرسم البياني. ولحسن الحظ أن هذه المناطق الثلاث لها كلها منطقة تقاطع مشتركة. وإذا كانت كثافة المادة هي وطاقة الفراغ يقعان في هذا التقاطع، فإن هذا يعني أن تمدد الكون قد أخذ يتسارع ثانية، بعد فترة طويلة من التباطؤ. وفيما يبدو فإن التضخم قد يكون من قوانين الطبيعة.

رأينا في هذا الفصل كيف يمكن فهم سلوك الكون الواسع بلغة من تاريخه في الزمان التخيلي، حيث يكون كرة دقيقة مسطحة هونا، تشبه قشرة جوزة هاملت، إلا أن هذه الجوزة فيها تشفير لكل ما يحدث في الزمان الواقعي. ومن ثم، فقد كان هاملت على حق تماما، فنحن قد نكون محددين داخل قشرة جوزة، لكننا مازلنا نعد أنفسنا ملوكا لمكان بلا حدود.

4 التنبؤ بالمستقبل

كيف أن فقدان المعلومات في الثقوب السوداء قد يقلل من قدرتنا على التنبؤ بالمستقبل؟

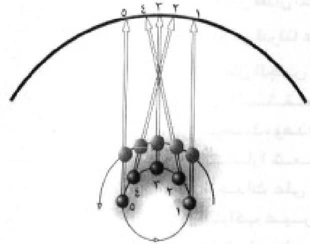
ظل الجنس البشري يريد دائما أن يتحكم في المستقبل، أو على الأقل أن يتنبأ بما سيحدث. وهذا هو السبب في انتشار التنجيم انتشارا شعبيا بالغا. يدعي التنجيم أن الأحداث على الأرض لها ارتباط بحركات الكواكب عبر السماء. وهذا فرض يمكن اختباره علميا، أو هو سيكون كذلك لو أن المنجمين اشرأبوا بأعناقهم مادين إياها للخارج لصنع تنبؤات محددة يمكن اختبارها. إلا أنهم بكل حكمة يجعلون تنبؤاتهم بالغة الغموض بحيث يمكنهم تطبيقها على أي نتيجة تظهر. فلهم مقولات مثل «العلاقات الشخصية قد تزداد قوة» أو «ستنال فرصة مجزية ماليا»، وهي مقولات لا يمكن أبدا إثبات خطئها.

«بعض النظريات التي ذكرت في هذا الكتاب ليس لها براهين تجريبية أكثر مما للتنجيم، ولكننا نؤمن بها لأنها متسقة مع نظريات صمدت للاختبار»

المؤلف

على أن السبب الحقيقي في أن معظم العلماء لا يؤمنون بالتنجيم ليس هو وجود البراهين العلمية أو نقصها، وإنما لأن التنجيم لا يتسق مع نظريات أخرى قد اختبرت بالتجارب. عندما اكتشف كوبرنيكوس وجاليلو أن الكواكب تدور

حول الشمس وليس الأرض، واكتشف نيوتن القوانين التي تحكم حركتها، أصبح التنجيم بعيدا تماما عن أن يصدقه أي أحد. لماذا ينبغي أن تكون هناك علاقة ارتباط بين أوضاع الكواكب الأخرى إزاء خلفيتها في السماء كما تُرى من الأرض وبين تلك الجزيئات الضخمة التي توجد في كوكب ضئيل وتسمي أنفسها بأنها الحياة الذكية؟ (الشكل ١-٤)، على أن هذا هو ما يريد لنا التنجيم أن نؤمن به. بعض النظريات التي ذكرت في هذا الكتاب ليس لها براهين تجريبية أكثر مما للتنجيم، ولكننا نؤمن بها لأنها متسقة مع نظريات صمدت للاختبار.



الشكل (١-٤)

احد الراصدين على الأرض (صف الكرات السفلي) التي تدور حول الشمس يرقب المريخ (صف الكرات العلوي) إزاء خلفية من الأبراج السماوية.

يمكننا تفسير الحركة الظاهرية المعقدة للكواكب في السماء بواسطة قوانين نيوتن، وليس لهذه الحركة أي تأثير في مصائر الأشخاص.

أدى نجاح قوانين نيوتن وغيرها من النظريات الفيزيائية إلى فكرة الحتمية العلمية، وقد عبر عنها لأول مرة العالم الفرنسي المركيز دي لابلاس عند بداية القرن التاسع عشر. طرح لابلاس أننا لو عرفنا مواقع وسرعات كل جسيمات الكون في أحد الأوقات، ينبغي عندها أن تتيح لنا قوانين الفيزياء أن نتنبأ بما ستكون عليه حالة الكون في أي وقت آخر في الماضي أو المستقبل.

وبكلمات أخرى، إذا كانت الحتمية العلمية صحيحة، فينبغي من حيث المبدأ أن نكون قادرين على التنبؤ بالمستقبل، ولن نكون بحاجة للتنجيم. على أننا سنجد بالطبع عند التطبيق أنه سينتج عن شيء في بساطة نظرية نيوتن عن الجاذبية معادلات لا يمكن حلها حلا مضبوطا عندما تتناول ما هو أكثر من جسيمين. وبالإضافة، كثيرا ما يكون في المعادلات خاصية تسمى الشواش chaos، بحيث إن تغيرا في الموضع أو السرعة في أحد الأوقات، يمكن أن يؤدي إلى سلوك مختلف

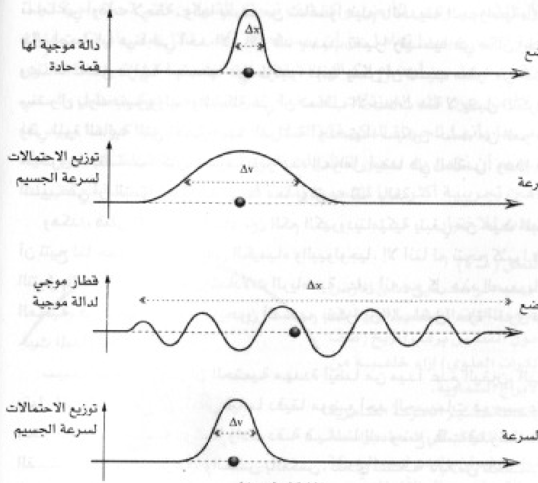
تماما في أوقات لاحقة. وكما يعرف من شاهدوا فيلم «الحديقة الجوراسية» (*)، فإن اضطرابا هينا في أحد الأماكن قد يسبب تغيرا رئيسيا في مكان آخر. وعندما تخفق فراشة أجنحتها في طوكيو، فإنها يمكن أن تسبب مطرا في منتزه سنترال بارك بنيويورك. والمشكلة هي أن تعاقب الأحداث هنا لا يقبل التكرار. وفي المرة التالية التي تخفق فيها الفراشة أجنحتها، سيكون حشد من العوامل الأخرى مختلفا عما كان، وسوف تؤثر هذه العوامل أيضا في الطقس. وهذا هو السبب في أن التنبؤات الجوية ليست مما يوثق به ثقة بالغة.

وهكذا، فعلى الرغم من أن قوانين الكم الكهروديناميكية ينبغي من حيث المبدأ أن تتيح لنا حساب كل شيء في الكيمياء والبيولوجيا، إلا أننا لم ننجح كثيرا في التنبؤ بالسلوك البشري من المعادلات الرياضية. على أنه مع كل هذه الصعوبات العملية، فإن معظم العلماء يريحون أنفسهم بفكرة أن المستقبل، مرة أخرى من حيث المبدأ، يمكن التنبؤ به.

سيبدو للوهلة الأولى أن الحتمية مهددة أيضا من مبدأ عدم اليقين، الذي يقول إننا لا نستطيع أن نقيس قياسا دقيقا موضع أحد الجسيمات هو وسرعته معا في الوقت نفسه. وكلما زادت دقة قياسنا للموضع، قلت قدرتنا على القياس الدقيق للسرعة، والعكس بالعكس. تنادي نسخة لابلاس للحتمية العلمية بأننا لو عرفنا مواضع وسرعات الجسيمات في أحد الأوقات، سنستطيع أن نعين مواضعها وسرعاتها في أي وقت في الماضي أو المستقبل. ولكن كيف نستطيع، حتى، أن نبدأ إذا كان مبدأ عدم اليقين يمنعنا من أن نعرف، على وجه الدقة، مواضع الجسيمات هي وسرعاتها معا في الوقت نفسه؟ ومهما بلغت جودة كمبيوتراتنا، فإننا لو وضعنا بيانات سيئة في داخلها، سوف تخرج لنا منها تنبؤات سيئة.

إن الحتمية كانت قد أعيد إحياؤها بشكل معدل في نظرية جديدة سميت ميكانيكا الكم، تتضمن مبدأ عدم اليقين. وفي ميكانيكا الكم، يستطيع المرء تقريبا أن يتنبأ تنبؤا دقيقا بنصف ما كان يتوقع أن يتنبأ به من وجهة نظر لابلاس الكلاسيكية. وإذا كان لا يمكن في ميكانيكا الكم أن نحدد بدقة ما للجسيم من موضع أو سرعة، فإنه «يمكن» تمثيل حالته بما يسمى الدالة الموجية (الشكل ٢-٤).

(*) العصر الجوراسي عصر سادت فيه الزواحف الضخمة وظهر فيه أول الطيور، وانتهى من ١٣٥ مليون سنة تقريبا (المترجم).



الشكل (٢-٤)

تحدد الدالة الموجية احتمالات ما سيكون للجسيم من مواضع وسرعات مختلفة بحيث تخضع Δx و Δv لمبدأ عدم اليقين.

الدالة الموجية عدد عند كل نقطة من المكان يعطي الاحتمالات عن وجود الجسيم في ذلك الموضع. والمعدل الذي تختلف به الدالة الموجية من نقطة إلى الأخرى يخبرنا بمدى احتمالات سرعات الجسيم المختلفة. ولبعض الدالات الموجية قمة حادة عند نقطة معينة من المكان. وفي هذه الحالات لن يكون هناك إلا قدر صغير من عدم اليقين بالنسبة إلى موضع الجسيم. على أنه يمكننا أن نرى أيضا في الرسم البياني أن الدالة الموجية في هذه الحالات تتغير تغيرا سريعا قرب هذه النقطة، ويكون ذلك إلى أعلى عند أحد الجوانب، ولأسفل عند الجانب الآخر. ويعني هذا أن توزيع الاحتمالات بالنسبة إلى السرعة يمتد عبر مدى واسع. وبكلمات أخرى يكون عدم اليقين

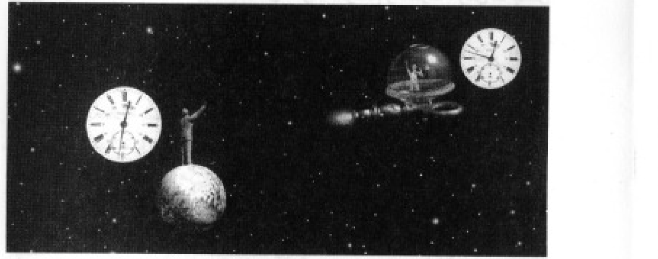
كبيرا بالنسبة إلى السرعة. وعندما ننظر من الناحية الأخرى أمر قطار مستمر من الموجات، سنجد هنا عدم يقين كبير بالنسبة إلى الموضع، إلا أن عدم اليقين يكون صغيرا بالنسبة للسرعة. وبالتالي، فإن توصيف أحد الجسيمات بالدالة الموجية لا يكون فيه تحديد دقيق للموضع أو السرعة. وهذا يفي بمبدأ عدم اليقين. ونحن ندرك الآن أن الدالة الموجية هي «كل» ما يمكن تحديده دقيقا. بل ونحن لا نستطيع حتى طرح أن موضع وسرعة الجسيم معروفان ميتافيزيقيا، ولكنهما خفيان علينا. فنظريات «المتغيرات الخفية» هذه تتنبأ بنتائج لا تتفق مع الملاحظة. يقيد مبدأ عدم اليقين أي نظرية، ولا تستطيع أي نظرية كانت أن تعرف الموضع والسرعة، وكل ما يمكن معرفته هو الدالة الموجية.

هناك معادلة تسمى معادلة شرودنجر (*) تعطينا معدل سرعة تغير الدالة الموجية بالزمن. وإذا عرفنا الدالة الموجية في أحد الأوقات يمكننا أن نستخدم معادلة شرودنجر لحساب الدالة الموجية في أي وقت آخر في الماضي أو المستقبل. إذن، فإنه لا تزال هناك حتمية في نظرية الكم ولكن بمقياس منخفض. وبدلا من أن نستطيع التنبؤ بالمواضع والسرعات معا، فإننا نستطيع التنبؤ فقط بالدالة الموجية. ويتيح لنا هذا أن نتنبأ إما بالمواضع وإما بالسرعات، ولكننا لا نستطيع أن نتنبأ بهما معا بدقة. ومن ثم، فإن القدرة على صنع تنبؤات مضبوطة تكون في نظرية الكم بمقدار النصف فقط مما كانت عليه في نظرية لابلاس الكلاسيكية للعالم. ومع ذلك فإنه – من خلال هذا المعنى المقيد – لا يزال في الإمكان أن ننادي بأن هناك حتمية.

على أن استخدام معادلة شرودنجر لإنشاء الدالة الموجية أماما في الزمان (أي للتنبؤ بما ستكون عليه في أوقات من المستقبل) فيه افتراض ضمني بأن الزمن يتواصل بسلاسة في كل مكان، وللأبد. لا ريب في أن هذا يصدق في فيزياء نيوتن، فقد كان يفترض فيها أن الزمان مطلق، بمعنى أن كل حدث في تاريخ الكون يميز بعدد يسمى الزمن، وأن هناك تسلسلا من التميزات الزمنية تجرى بسلاسة من الماضي اللانهائي إلى المستقبل اللانهائي. ويمكننا أن نسمي هذا بأنه نظرة الحس المشترك للزمان، وهي نظرة للزمان

(*) حسب معادلة شرودنجر يتحدد تطور الزمن ـ في الدالة الموجية ـ بوساطة عامل هاملتون (H)، الذي يصاحب طاقة المنظومة الفيزيائية التي يُبحث أمرها.

موجودة عند معظم الناس في خلفية عقولهم، بل وعند معظم الفيزيائيين. على أنه حدث في ١٩٠٥، كما سبق أن رأينا، أن أطاحت نظرية النسبية الخاصة بمفهوم الزمان المطلق، حيث الزمان في هذه النظرية لا يعود بعد كمية مستقلة بذاتها، وإنما هو فقط اتجاه واحد في متصل له أربعة أبعاد يسمى المكان - الزمان (الزمكان). وحسب النسبية الخاصة، فإن الملاحظين المختلفين الذين ينتقلون بسرعات مختلفة يتحركون خلال المكان - الزمان على مسارات مختلفة. ويكون لكل ملاحظ قياسه الخاص للزمان بطول المسار الذي يتبعه، وسيقيس الملاحظون المختلفون فترات زمنية مختلفة للوقت فيما بين الأحداث (الشكل٣-٤).

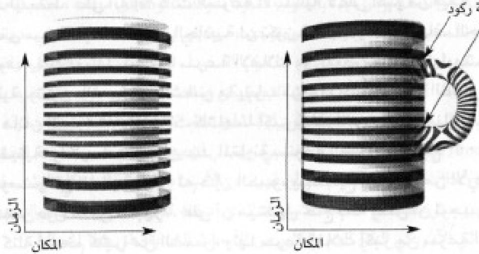


الشكل (٤ - ٣)

عندما يتحرك الملاحظون في الزمكان المسطح للنسبية الخاصة بسرعات مختلفة سيكون لديهم قياسات مختلفة للزمان، ولكننا نستطيع استخدام معادلة شرودنجر في أي من هذه الأزمنة للتنبؤ بما سوف تكونه الدالة الموجية في المستقبل.

لا يوجد بالتالي في النسبية الخاصة زمن مطلق وحيد يمكننا أن نستخدمه لتمييز الأحداث. على أن زمكان النسبية الخاصة يكون مسطحا. يعني هذا أنه يحدث في النسبية الخاصة أن الزمان الذي يقيسه أي ملاحظ يتحرك بحرية يتزايد بسلاسة في المكان. الزمان من لانهائية سالبة في الماضي اللانهائي إلى لانهائية موجبة في المستقبل اللانهائي. ونحن نستطيع أن نستخدم أيا من هذه القياسات في معادلة شرودنجر لإنشاء الدالة الموجية. ومن ثم، فنحن مازال لدينا في النسبية الخاصة النسخة الكمومية للحتمية.

يختلف الموقف في نظرية النسبية العامة، حيث المكان - الزمان لا يكون مسطحا، وإنما هو ينحني ويتشوه بما فيه من مادة وطاقة. انحناء المكان - الزمان في منظومتنا الشمسية هو انحناء هين جدا، على الأقل بالمقياس الميكروسكوبي، لدرجة أنه لا يتعارض مع فكرتنا المعتادة عن الزمان. ونحن مازلنا نستطيع في هذا الموقف أن نستخدم هذا الزمان في معادلة شرودنجر للحصول على نشأة حتمية للدالة الموجية. إلا أننا ما إن نسمح بانحناء المكان - الزمان، حتى نفتح الباب لإمكان أنه قد تكون له بنية لا تسمح بوجود زمان يتزايد بسلاسة بالنسبة إلى كل ملاحظ، كما نتوقع بالنسبة إلى القياس المعقول للزمان. وكمثل، دعنا نفترض أن الزمكان يماثل أسطوانة رأسية (الشكل ٤ - ٤).



الشكل (٤ - ٤)
(الزمان يتوقف)

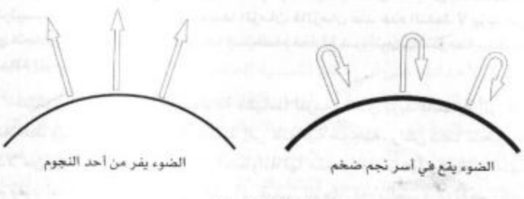
قياس الزمان يكون له بالضرورة نقط ركود حيث يتصل المقبض بالأسطوانة الرئيسية: أي أنها نقط يتوقف عندها الزمان. فالزمان عند هذه النقط لا يزيد في أي اتجاه. وبالتالي، لن نستطيع هنا استخدام معادلة شرودنجر للتنبؤ بما ستكونه الدالة الموجية في المستقبل.

سيكون الارتفاع على الأسطوانة مقياسا للزمان الذي يزيد بالنسبة إلى كل ملاحظ ويسري من لانهائية سالبة إلى لانهائية موجبة. ولكن دعنا نتخيل - بدلا من ذلك - أن الزمكان يماثل أسطوانة لها مقبض (ثقب دودي) يتفرع منها ثم يعود لينضم إليها. وبالتالي، فإن أي قياس للزمان له، بالضرورة، نقط ركود عند مكان اتصال المقبض بالأسطوانة الرئيسية: نقط يكون الزمان عندها

متوقفا. الزمان عند هذه النقط لن يزداد بالنسبة إلى أي ملاحظ. لن نستطيع في مكان. زمان كهذا أن نستخدم معادلة شرودنجر للحصول على نشأة حتمية للدالة الموجية. هذا وعلينا أن نحترس من الثقوب الدودية، فنحن لا نعرف أبدا ماذا سيخرج منها.

الثقوب السوداء هي السبب في أننا نعتقد أن الزمان لا يزيد بالنسبة إلى كل ملاحظ. ظهر أول نقاش حول الثقوب السوداء في ١٧٨٣. طرح جون ميتشيل، وهو عضو تدريس (دون) سابق في كيمبردج، المحاجة التالية: إذا أطلقنا جسيما في اتجاه رأسي لأعلى مثل قنبلة مدفع، ستؤدي الجاذبية إلى إبطاء تصاعده، ولا يلبث الجسيم في النهاية أن يتوقف عن التحرك لأعلى ثم يعود ليسقط. على أنه إذا كانت السرعة الابتدائية لأعلى أكبر من قيمة حرجة تسمى سرعة الإفلات، فإن الجاذبية لن تكون قط بما يكفي لإيقاف الجسيم، وسوف يفلت بعيدا. تقترب سرعة الإفلات من الأرض من ١٢ كيلومترا في الثانية، وتكون بالنسبة إلى الشمس ما يقرب من ٦١٨ كيلومترا في الثانية.

هاتان السرعتان للإفلات كلتاهما أكبر كثيرا من سرعة قنابل المدافع الحقيقية، ولكنهما صغيرتان عند المقارنة بسرعة الضوء التي تبلغ ٣٠٠,٠٠٠ كيلومتر في الثانية. ومن ثم فإن الضوء يستطيع أن يفلت من الأرض أو الشمس دون صعوبة كبيرة. على أن ميتشيل حاج بأنه يمكن أن توجد نجوم لها كتلة أضخم كثيرا من الشمس، ولها سرعة إفلات أكبر من سرعة الضوء (الشكل ٥ - ٤). ولن نستطيع أن نرى هذه النجوم، لأن أي ضوء تبثه للخارج سوف يُشد وراء بجاذبية النجم، وبالتالي فإنها ستكون ما سماه ميتشيل نجوما مظلمة، ونسميه الآن ثقوبا سوداء.



الشكل (٥ - ٤)

أُسست فكرة ميتشيل عن النجوم المظلمة بناء على فيزياء نيوتن، حيث يكون الزمان مطلقا، ويظل مستمرا بصرف النظر عما يحدث. ومن ثم، فإن النجوم المظلمة لا تؤثر في قدرتنا على التنبؤ بالمستقبل بالصورة النيوتنية الكلاسيكية. ولكن الموقف يختلف تماما في نظرية النسبية العامة، ففيها تؤدي الأجرام الضخمة إلى جعل المكان ـ الزمان منحنيا.

حدث في ١٩١٦، بعد زمن قصير من صياغة النظرية لأول مرة، أن وجد كارل شوارتزتشيلد (الذي مات سريعا بعد الإصابة بمرض معدٍ في الجبهة الروسية في الحرب العالمية الأولى)، وجد حلا لمعادلات مجال النسبية العامة الذي يمثل ثقبا أسود. وظل ما وجده شوارتز غير مفهوم لسنين كثيرة، أو أنه لم تدرك أهميته. ولم يكن أينشتين نفسه يؤمن أبدا بالثقوب السوداء، وقد شاركه في موقفه معظم الحرس القديم للنسبية العامة. وفيما أذكر، توجهت مرة إلى باريس لإلقاء كلمة في ندوة عن اكتشافي أن نظرية الكم تعني أن الثقوب السوداء ليست سوداء بالكامل. ولقيت ندوتي ما هو أشبه بالفتور لأنه وقتذاك لم يكن هناك تقريبا في باريس أي فرد يؤمن بالثقوب السوداء. وأحس الفرنسيون أيضا أن اسم الثقب الأسود كما يترجمونه إلى trou noir، فيه التباس بتضمين جنسي، وينبغي أن يحل مكانه اسم «النجم الخفي». على أي حال، فإن هذا الاسم هو أو غيره من الأسماء المطروحة ما كان ليشد خيال الجمهور مثل مصطلح «الثقب الأسود»، الذي أدخله لأول مرة جون أرشيبالد هويلر الفيزيائي الأمريكي الذي ألهم بالكثير من الأبحاث الحديثة في هذا المجال.

الثقب الأسود عند شوارتز تشيلد

في ١٩١٦ وجد عالم الفلك الألماني كارل شوارتز تشيلد حلا لنظرية النسبية لأينشتين يمثل ثقبا أسود مستديرا. كشف بحث شوارتز تشيلد عن دلالة مذهلة في النسبية العامة، فقد أوضح أنه إذا تركزت كتلة نجم في منطقة صغيرة صغرا كافيا، يصبح المجال الجذبوي عند سطح النجم قويا لدرجة أن حتى الضوء لن يستطيع بعد أن يفلت منه، وهذا هو ما نسميه الآن ثقبا أسود، أي منطقة من المكان ـ الزمان محددة بما يسمى أفق الحدث، حيث يستحيل أن يصل منها أي شيء إلى ملاحظ بعيد، بما في ذلك الضوء.

ظل معظم الفيزيائيين، بمن فيهم أينشتين، زمنا طويلا وهم يتشككون في أن مثل هذه التكوينات المتطرفة من المادة يمكن أن توجد فعلا في الكون الواقعي. ولكننا الآن نفهم أنه عندما ينفد الوقود النووي من أي نجم له ثقل كاف وليس له دوران، فإن هذا النجم مهما كان تعقد شكله وبنيته، سوف يتقلص بالضرورة إلى ثقب شوارتز تشيلد الأسود بما له من استدارة تصل إلى حد الكمال. ويعتمد نصف قطر (نق) أفق حدث الثقب الأسود على كتلته (ك) لا غير، ويمكننا أن نحصل عليه من المعادلة: نق = ٢ ج ك ÷ س٢. وترمز س في هذه المعادلة إلى سرعة الضوء، وج لثابت نيوتن، و ك لكتلة الثقب الأسود. وكمثل فإن ثقبا أسود له كتلة مماثلة للشمس سيكون له نصف قطر من ميلين لا غير!

جون هويلر

ولد جون أرشيبالد هويلر سنة ١٩١١ في جاكونسفيل بفلوريدا. ونال درجته لدكتوراه الفلسفة من جامعة جون هوبكنز في ١٩٣٣ لبحثه عن استطارة (تبعثر) الضوء بواسطة ذرة الهليوم. ثم عمل في ١٩٣٨ مع الفيزيائي الدنماركي نيلز بوهر، وذلك لإنشاء نظرية الانشطار النووي. وظل هويلر لفترة بعدها يركز هو وتلميذه المتخرج ريتشارد فينمان على دراسة الديناميات الإلكترونية، على أنه حدث بعد زمن قصير من دخول أمريكا الحرب العالمية الثانية أن واصل الاثنان معا المساهمة في مشروع مانهاتن.

في أوائل خمسينيات القرن العشرين حول هويلر اهتمامه إلى نظرية النسبية العامة لأينشتين، وقد ألهمه لذلك أبحاث روبرت أوبنهايمر في ١٩٣٩ عن التقلص الجذبوي للنجوم الضخمة. كان معظم الفيزيائيين في ذلك الوقت مشغولين بدراسة الفيزياء النووية، ولم تكن النسبية العامة تعد في الواقع ذات علاقة مهمة بالعالم الفيزيقي. إلا أن هويلر، وهو يكاد يكون منفردا، أحدث تحولا في هذا المجال، وكان ذلك بوساطة أبحاثه، وكذلك أيضا بوساطة تدريسه لأول مقرر في برينستون عن النسبية.

وقد صاغ في وقت متأخر جدا عن ذلك ١٩٦٩، مصطلح «الثقب الأسود» ليطلق على حالة تقلص المادة، وهي حالة لم يكن هناك وقتها إلا قلة تؤمن بأنها حقيقية. وقد ألهمته أبحاث ويرنر إسرائيل بأن يحدس أن الثقوب السوداء ليس لها شعر، الأمر الذي يعني أن حالة التقلص لأي نجم غير دوّار يمكن في الحقيقة وصفها حسب حل شوارتز تشيلد.

اكتُشفت الكوازارات في ١٩٦٣ (*)، وأدى ذلك إلى نشاط متفجر في إجراء الأبحاث النظرية عن الثقوب السوداء، وكذلك في مجالات إجراء أرصاد للكشف عنها. وهاكم الصورة التي انبثقت عن ذلك. دعنا ننظر أمر ما نعتقد أنه تاريخ نجم له كتلة تبلغ عشرين مثلا لكتلة الشمس. تتشكل هذه النجوم من سحب من الغاز والغبار مثل تلك التي في سديم الجوزاء (أوريون). عندما تنكمش سحب الغاز بتأثير ما لها هي نفسها من الجاذبية، يسخن الغاز وتصبح سخونته في النهاية كافية لأن تبدأ تفاعل اندماج نووي يحول الهيدروجين إلى هيليوم. تؤدي الحرارة المتولدة عن هذه العملية إلى خلق ضغط يدعم النجم ضد ما له من جاذبية وتوقف انكماشه لحجم أصغر. يظل النجم في هذه الحالة لزمن طويل، وهو يحرق الهيدروجين ويشع الضوء في الفضاء.

(*) كوازار ٣ سي ٢٧٣، أول ما اكتُشف من مصادر أشعة الراديو من أشباه النجوم (الكوازارات)، وهو ينتج قدرا كبيرا من الطاقة في منطقة صغيرة، ويبدو أن الآلية الوحيدة التي يمكن أن تفسر درجة ضيائه العالية هي أن المادة تهوي فيه داخل ثقب أسود.

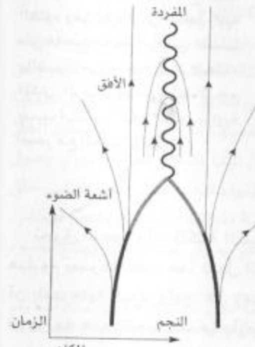
يؤثر المجال الجذبوي للنجم في مسارات أشعة الضوء التي تخرج منه. يمكن للمرء أن يخط رسما بيانيا (الشكل ٦ـ ٤) حيث يرسم الزمان رأسيا وترسم المسافة من مركز النجم أفقيا. ويمثّل سطح النجم في هذا الرسم البياني بخطين رأسيين على جانبي المركز. نستطيع أن نختار أن يكون قياس الزمان بالثواني والمسافة بالثانية الضوئية. أي المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية. عندما نستخدم هذه الوحدات تكون سرعة الضوء هي ١؛ بمعنى أن سرعة الضوء هي ثانية ضوئية واحدة في الثانية. ويعني هذا أنه عند الابتعاد عن النجم ومجاله الجذبوي، يكون مسار الضوء على الرسم خطا يصنع زاوية من ٤٥° مع الخط الرأسي. إلا أنه كلما زاد الاقتراب من النجم يؤدي انحناء المكان. الزمان بفعل كتلة النجم إلى أن يغير من مسارات أشعة الضوء ويجعلها بزاوية أصغر مع الخط الرأسي.



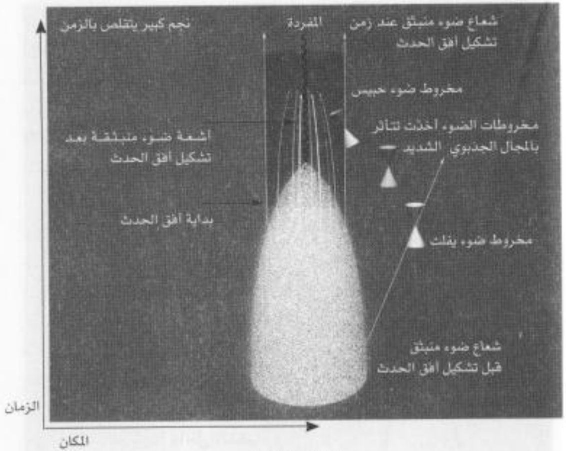
الشكل (٦ـ٤)
المكان ـ الزمان حول نجم غير متقلص. تستطيع أشعة الضوء أن تفلت من سطح النجم (الخطان السميكان الراسيان). تصنع أشعة الضوء وهي بعيدة عن النجم زاوية من ٤٥° مع الخط الرأسي، أما بالقرب من النجم فإن انحناء المكان ـ الزمان بفعل كتلة النجم يسبب أن تكون أشعة الضوء بزاوية أصغر مع الخط الرأسي.

تحرق النجوم ذات الكتلة الكبيرة ما فيها من هيدروجين ليتحول إلى هيليوم بسرعة أكبر مما تفعل الشمس. ما يعني أن هذه النجوم يمكن أن ينفد منها الهيدروجين في زمن قليل من ملايين معدودة من السنين، ثم يواجه هذه النجوم بعدها بأزمة. وهي تستطيع أن تحرق ما فيها من هيليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون والأكسجين، ولكن هذه

التفاعلات الكيميائية لا تطلق الكثير من الطاقة، وبالتالي تفقد النجوم حرارتها هي والضغط الحراري الذي يدعمها ضد جاذبيتها. وبالتالي يأخذ حجمها في الصغر. إذا كانت كتلة النجم أكثر مما يقرب من ضعف كتلة الشمس، لن يكفي الضغط الحراري أبدا لوقف الانكماش. ويتقلص النجم إلى حجم الصفر وإلى كثافة لا نهائية ليشكل ما يسمى مفردة (الشكل ٧ ـ ٤). وسنجد في الرسم البياني للزمان إزاء المسافة من المركز، أنه مع انكماش النجم، فإن مسارات أشعة الضوء من سطحه تبدأ في الخروج بزوايا أصغر وأصغر مع الخط العمودي. وعندما يصل النجم إلى نصف قطر معين حرج، يصبح المسار عموديا على الرسم البياني، الأمر الذي يعني أن الضوء سيحوم على مسافة ثابتة من مركز النجم ولا ينطلق مطلقا لما هو أبعد. وهذا المسار الحرج للضوء ينساب عبر سطح يسمى أفق الحدث (الشكل ٨ ـ ٤)، وهذا سطح يفصل منطقة المكان ـ الزمان التي يستطيع الضوء أن يفلت منها عن المنطقة التي لا يستطيع الإفلات منها. وأي ضوء ينبعث من النجم بعد تجاوزه أفق الحدث سوف ينحني وراء للداخل بوساطة انحناء المكان الزمان. وهكذا يصبح النجم أحد النجوم المظلمة عند ميتشيل، أو يصبح كما نقول الآن ثقبا أسود.



الشكل (٤-٧)
عندما يتقلص النجم (التقاء الخطين السميكين عند نقطة) يصبح الانحناء بالغ الكبر لدرجة أن أشعة الضوء بالقرب من السطح تتحرك للداخل. يتكون ثقب أسود، اي منطقة من المكان ـ الزمان لا يمكن للضوء ان يفلت منها.



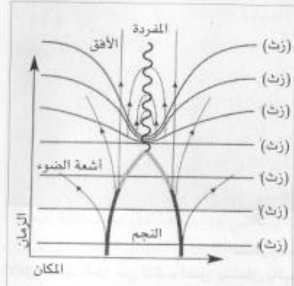
الشكل (٤-٨)
الأفق، الحد الخارجي لثقب أسود يتشكل بأشعة الضوء التي كادت تفشل في الإفلات من الثقب الأسود، ولكنها بقيت تحوم على مسافة ثابتة من المركز.

كيف يمكن لنا أن نكتشف ثقبا أسود إذا كان لا يمكن لأي ضوء أن يخرج منه؟ الإجابة هي أن الثقب الأسود مازال يمارس على الأجرام المجاورة الشد الجذبوي نفسه، مثلما كان يفعل الجرم الذي تقلص. لو كانت الشمس ثقبا أسود وقد تمكنت من أن تصير هذا الثقب من غير أن تفقد أيا من مادتها، فإن الكواكب ستظل تدور من حولها كما تفعل الآن.

إذن، فإن إحدى الطرائق للبحث عن ثقب أسود هي أن نبحث عن مادة لها مدار حول ما يبدو أنه جرم مضغوط له كتلة كبيرة ولا يرى. تم رصد عدد من المنظومات من هذا النوع. ولعل أكثرها إثارة هي الثقوب السوداء العملاقة التي تقع في مراكز المجرات والكوازارات.

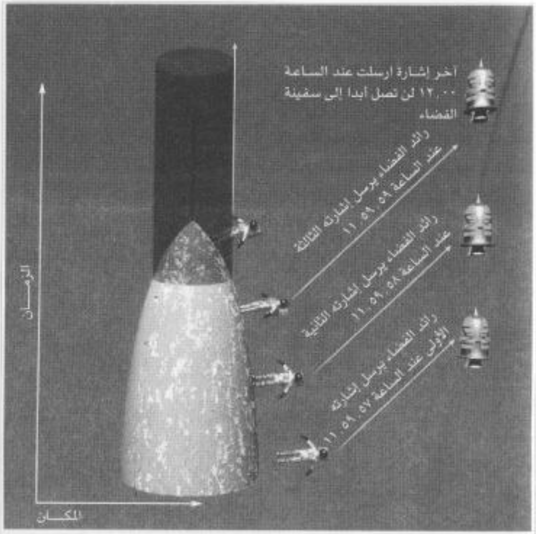
لا تثير خواص الثقوب السوداء التي ناقشناها حتى الآن أي مشاكل كبيرة فيما يتعلق بالحتمية. سوف يصل الزمان إلى نهايته بالنسبة إلى رائد الفضاء الذي يهوي داخل الثقب الأسود ويلاقي المفردة. ولكن المرء في النسبية العامة له الحرية

في أن يقيس الزمان بسرعات مختلفة في الأماكن المختلفة. ومن ثم، يستطيع المرء أن يزيد سرعة ساعة رائد الفضاء وهو يقترب من المفردة، بحيث تظل الساعة تسجل فترة لانهائية من الزمان. في رسم بياني للزمان والمسافة (الشكل ٩-٤) ستكون أسطح القيم الثابتة لهذا الزمن الجديد متزاحمة معا عند المركز تحت النقطة التي ظهرت عندها المفردة. ولكنها تتفق مع القياس المعتاد للزمان في المكان. الزمان المسطح تقريبا الذي يبعد بعدا كبيرا عن الثقب الأسود.



الشكل (٩ - ٤)
زت (CT) ـ خطوط الزمن الثابت

يستطيع المرء أن يستخدم هذا الوقت في معادلة شرودنجر، ويحسب الدالة الموجية في الأوقات اللاحقة إذا عرف ما تكونه بداية. وهكذا فإن الحتمية تظل موجودة لدينا. على أنه يجدر بنا أن نلاحظ أنه في أوقات متأخرة، سيكون جزء من الدالة الموجية داخل الثقب الأسود، حيث لا يمكن أن يلاحظه أي فرد من الخارج. وبالتالي فإن الملاحظ الذي يكون لديه من رجاحة العقل ما يكفي لألا يقع في ثقب أسود، لن يستطيع أن يعالج معادلة شرودنجر وراء ليحسب الدالة الموجية في الأزمنة المبكرة. فحتى يفعل ذلك سيحتاج إلى أن يعرف ذلك الجزء من الدالة الموجية الموجود داخل الثقب الأسود. فهو يحوي المعلومات عما هوى داخل الثقب. وهذه بالإمكان معلومات كميتها كبيرة جدا، لأن الثقب الأسود عندما تكون له كتلة وسرعة دوران معينتان يمكن أن يتشكل من عدد كبير جدا من مجموعات مختلفة من الجسيمات. والثقب الأسود لا يعتمد على طبيعة الجرم الذي تقلص ليشكله. وقد أطلق جون هويلر على هذه النتيجة مصطلح أن «الثقب الأسود لا شعر له». وبالنسبة إلى الفرنسيين فإن هذا «المصطلح قد أكد لهم شكوكهم الجنسية لا غير».



يبين هذا الرسم التوضيحي رائد فضاء يحط على نجم متقلص عند الساعة ١١,٥٩,٥٧، وينضم إلى النجم وهو ينكمش لأقل من نصف القطر الحرج الذي تكون الجاذبية عنده شديدة القوة، حتى أن أي إشارة لا تستطيع أن تفلت. ويرسل الرائد إشارات من ساعته إلى سفينة فضاء تدور حول النجم على فترات منتظمة. إذا كان أحدهم يراقب النجم من بعد، فإنه لن يراه أبدا وهو يعبر أفق الحدث ويدخل الثقب الأسود. وبدلا من ذلك سيبدو النجم محوما في الخارج بالضبط من نصف القطر الحرج، والساعة على سطح النجم سيبدو أنها تبطئ فتتوقف.

ظهرت المشكلات بالنسبة إلى الحتمية عندما حدث لي أن اكتشفت أن الثقوب السوداء ليست سوداء بالكامل. فالنظرية الكمية، كما رأينا في الفصل الثاني، تعني أن أي مجالات لا يمكن أن تكون صفرا بالضبط، حتى فيما يسمى بالفراغ، ذلك أنها لو كانت صفرا، سيكون لها معا قيمة أو موضع مضبوط عند الصفر، وكذلك معدل مضبوط للتغير أو السرعة هو

أيضا صفر. وهذا انتهاك لمبدأ عدم اليقين الذي يقول أن الموضع والسرعة لا يمكن أن يكونا معا محددين بدقة. وبدلا من ذلك يجب أن يكون لأي مجال قدر معين مما يسمى تراوحات الفراغ (بالطريقة نفسها التي يكون بها للبندول تراوحات لنقطة الصفر، كما ورد في الفصل الثاني). يمكن لنا تفسير تراوحات الفراغ بطرائق عديدة تبدو مختلفة وإن كانت في الحقيقة متكافئة رياضيا. ومن وجهة نظر الوضعيين، نجد أن للمرء حرية استخدام أي صورة تكون هي الأكثر فائدة بالنسبة إلى المشكلة موضع البحث. وفي هذه الحالة سيكون من المفيد أن ننظر إلى تراوحات الفراغ كأزواج من جسيمين افتراضيين (virtual) يظهران معا عند نقطة ما من المكان. الزمان، ويتحركان متباعدين، ثم يعودان ليتجمعا معا ويبيد أحدهما الآخر.

حرارة الثقب الأسود

يبث الثقب الأسود إشعاعا كما لو كان جسما ساخنا حرارته ح (T) تعتمد فحسب على كتلته. وبدقة أكثر، فإننا نحصل على مقدار الحرارة من المعادلة التالية

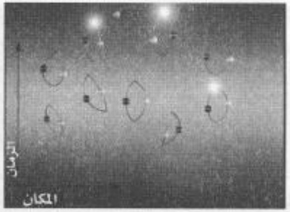
$$T = \hbar c^3 \div 8\pi k G M$$

الرمز (c) في هذه المعادلة يدل على سرعة الضوء، و $\hbar$ هي ثابت بلانك. و (G) ثابت نيوتن الجذبوي، و(K) ثابت بلوتزمان.

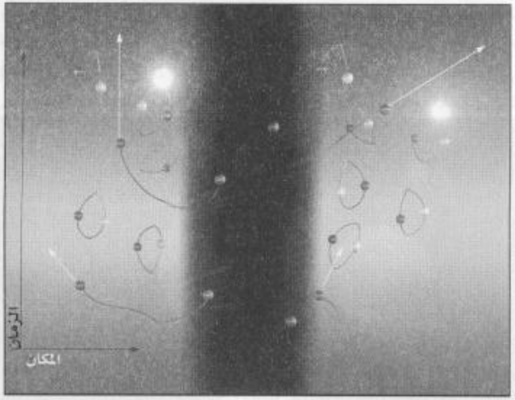
واخيرا فإن M تمثل كتلة الثقب الأسود، ومن ثم كلما كان الثقب الأسود أصغر، زادت حرارته. تخبرنا هذه المعادلة أن درجة حرارة الثقب الأسود الذي له كتلة من أمثال معدودة لكتلة الشمس، لا تزيد على الصفر المطلق إلا بما يقرب من جزء من المليون من الدرجة الواحدة.

وكلمة «افتراضية» هنا تعني أن هذه الجسيمات لا يمكن ملاحظتها على نحو مباشر، ولكن «يمكن» قياس تأثيراتها غير المباشرة، وهي تتفق مع التنبؤات النظرية بدرجة ملحوظة من الدقة (الشكل ١٠-٤).

إذا كان هناك ثقب أسود موجود، فإن جسيما من زوج الجسيمين قد يهوي داخل الثقب، تاركا الجسيم الآخر حرا ليهرب إلى اللانهاية (الشكل ١١ - ٤). سيبدو بالنسبة إلى الفرد البعيد عن الثقب، أن الجسيمات الهاربة هي إشعاع من الثقب الأسود. ويكون طيف الثقب الأسود هو بالضبط ما نتوقعه من جرم ساخن، له حرارة تتناسب مع المجال الجذبوي عند أفق - أو حد - الثقب الأسود. وبكلمات أخرى فإن حرارة الثقب الأسود تعتمد على كتلته.



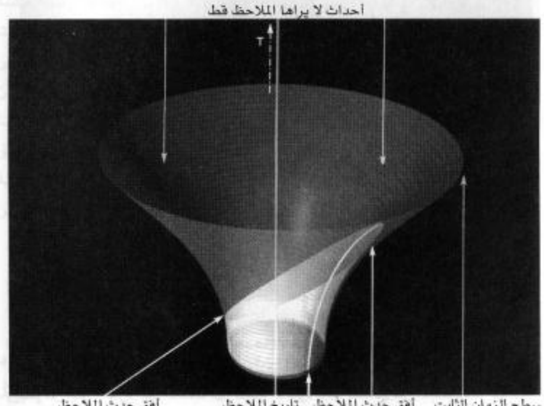
الشكل (١٠ - ٤)
تظهر أزواج من الجسيمات في فراغ الفضاء، وتبقى موجودة لزمن وجيز، ثم يبيد أحدها الآخر.



الشكل (١١ - ٤)
الجسيمات الافتراضية تظهر ويبيد أحدها الآخر، على مقربة من أفق حدث ثقب أسود. يهوى جسيم من زوج الجسيمين داخل الثقب الأسود، بينما يصبح توأمه حرا للإفلات. ويبدو لمن يكون خارج أفق الحدث أن الثقب الأسود يبث إشعاعا من الجسيمات المفلتة.

الثقب الأسود الذي تبلغ كتلته أمثال معدودة لكتلة الشمس تكون له درجة حرارة تقرب من جزء من المليون من درجة واحدة فوق الصفر المطلق، والثقب الأسود الأكبر من ذلك ستكون له درجة حرارة أقل. وبالتالي فإن أي إشعاع كمومي من هذه الثقوب السوداء سيكون مغمورا بالكامل بالإشعاع المتخلف عن الانفجار الكبير بحرارة من ٢,٧ درجة، أي إشعاع الخلفية الكوني الذي ناقشناه في الفصل

الثاني. يمكننا الكشف عن الإشعاع الآتي من ثقوب سوداء أصغر وأسخن كثيرا من هذا، وإن كان يبدو أنه لا يوجد الكثير منها من حولنا. وهذا أمر يؤسف له. ولو حدث لي أن اكتشفت واحدا منها، لنلت جائزة نوبل. على أي حال لدينا بالملاحظة براهين غير مباشرة فيما يتعلق بهذا الإشعاع، وهي براهين تأتي من الكون المبكر. ومن المعتقد، كما سبق ذكره في الفصل الثالث، أن الكون في وقت مبكر جدا من تاريخه مر بفترة تضخمية كان يتمدد خلالها بمعدل سرعة يتزايد دائما. ويحدث التمدد في أثناء هذه الفترة بسرعة بالغة، لدرجة أن بعض الأجرام تكون بالنسبة إلينا أبعد جدا من أن يصلنا ضوؤها بأي حال؛ وهكذا يتمدد الكون تمددا بالغا وبسرعة بالغة في أثناء انتقال هذا الضوء تجاهنا. وبالتالي يكون هناك أفق في الكون مثل أفق الثقب الأسود، أفق يفصل بين المنطقة التي يمكن أن يصلنا الضوء منها وتلك التي لا يمكن له أن يصلنا منها (الشكل ١٢-٤).



الشكل (١٢ . ٤)

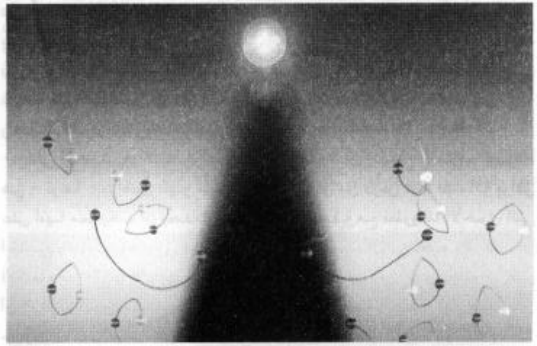
حل دي سيتر لمعادلات المجال في النسبية العامة، وهو حل يمثل كونا يتمدد على نحو تضخمي، والرسم التوضيحي يبين الزمان في الاتجاه الرأسي، ويبين حجم الكون في الاتجاه الأفقي. تزيد أبعاد المسافات الفضائية بسرعة بالغة لدرجة أن الضوء الذي يخرج من المجرات البعيدة لا يصل إلينا بأي حال، ويكون هناك أفق حدث أوحد للمنطقة التي لا نستطيع رصدها، كما في الثقب الأسود.

هناك حجج مماثلة جدا تبين أنه ينبغي أن يكون هناك إشعاع حراري من هذا الأفق، مثلما يحدث من أفق الثقب الأسود. ونحن نعرف أن من المتوقع في حالة الإشعاع الحراري أن يوجد طيف مميز من تراوحات الكثافة. ونجد في هذه الحالة أن هذه التراوحات في الكثافة قد تمددت مع الكون. وعندما يصبح مقياس طولها أطول من أفق الحدث، فإنها تبقى مجمدة، بحيث نستطيع أن نلاحظها حاليا كتباينات صغيرة في حرارة إشعاع الخلفية الكوني، قد تخلفت عن الكون المبكر. هذا وقد تم رصد هذه التباينات بما يتفق بدقة رائعة مع تنبؤات التراوحات الحرارية.

على أنه حتى لو كانت براهين الملاحظات بشأن إشعاع الثقوب السوداء هي - نوعا - براهين غير مباشرة، إلا أن كل من درس هذه المسألة يوافق على أنها مما يجب أن يحدث حتى تكون متسقة مع نظرياتنا الأخرى التي اختبرت بالملاحظة. وفي هذا دلالات مهمة بالنسبة إلى الحتمية. ذلك أن الإشعاع من الثقب الأسود سوف ينقل الطاقة بعيدا، الأمر الذي يجب أن يعني أن الثقب الأسود سوف يفقد من كتلته ويصبح أصغر. وهذا بدوره يعني أن حرارته سترتفع، وأن سرعة الإشعاع ستزيد. وتنخفض كتلة الثقب الأسود في النهاية إلى الصفر. مازلنا لا نعرف طريقة لحساب ما يحدث عند هذه النقطة، ولكن يبدو أن النتيجة الطبيعية المعقولة الوحيدة هي أن يختفي الثقب الأسود تماما. وإذن، ما الذي سيحدث عندها لذلك الجزء من الدالة الموجية داخل الثقب الأسود هو وما يحويه من معلومات عما هوى داخل الثقب الأسود؟ قد يكون أول تخمين هو أن هذا الجزء من الدالة الموجية، هو وما يحمله من المعلومات، سوف ينبثق ظاهرا عندما يختفي الثقب الأسود في النهاية. ولكن المعلومات لا يمكن أن تنتقل مجانا، الأمر الذي ندركه عندما تصلنا فاتورة التليفون.

تتطلب المعلومات طاقة لنقلها، ولن يتبقى سوى قدر صغير جدا من الطاقة في الأطوار النهائية للثقب الأسود. الطريقة المعقولة الوحيدة لأن تصل تلك المعلومات الداخلية إلى الخارج هي لو حدث أن ظلت تنبثق خارجة باستمرار مع الإشعاع، بدلا من أن تنتظر حتى هذا الطور النهائي. على أنه حسب تلك الصورة التي يحدث فيها أن واحدا من زوج الجسيمين الافتراضيين يهوي إلى الداخل بينما يهرب الجسيم الآخر، لن نتوقع وجود علاقة بين الجسيم الهارب وما

يسقط للداخل، أو لن نتوقع أنه سينقل بعيدا أي معلومات عن ذلك. وبالتالي، يبدو أن الإجابة الوحيدة هي أن المعلومات الموجودة في ذلك الجزء من الدالة الموجية داخل الثقب الأسود، هي معلومات مصيرها إلى الضياع (الشكل ١٣-٤).



الشكل (١٣ ـ ٤)

يحمل الإشعاع الحراري الطاقة الموجية بعيدا عن أفق الثقب الأسود، وهذا يقلل من كتلة الثقب. وإذ يفقد الثقب الأسود من كتلته، فإن درجة حرارته ترتفع ويزيد معدل سرعة إشعاعه، ومن ثم فإنه يفقد كتلته بسرعة أكبر وأكبر. مازلنا لا نعرف ماذا يحدث عندما تصبح الكتلة صغيرة أقصى الصغر، ولكن يبدو أن النتيجة الأكثر ترجيحا هي أن الثقب الأسود سوف يختفي بالكامل.

ضياع المعلومات، هكذا، له دلالات مهمة بالنسبة إلى الحتمية. وبداية، فقد لاحظنا أنه حتى لو كنا نعرف ما تكونه الدالة الموجية بعد اختفاء الثقب الأسود، فإننا لن نستطيع إعمال معادلة شرودنجر وراء لنحسب ماذا كانت الدالة الموجية قبل تكوين الثقب الأسود. ذلك أن ما كانت عليه الدالة الموجية عندها يعتمد جزئيا على ذلك الجزء من الدالة الذي ضاع في الثقب الأسود. ونحن قد تعودنا على التفكير بأننا نستطيع أن نعرّف الماضي بالضبط، على أنه إذا كانت هناك معلومات تضيع في الثقوب السوداء، فإننا لن نستطيع ذلك. وهكذا فإن من الممكن أن يكون أي شيء قد حدث.

إننا نجد ـ عموما ـ أن أفرادا مثل المنجمين ومن يستشيرونهم يهتمون بالتنبؤ بالمستقبل أكثر من اهتمامهم باسترجاع الماضي. هذا وقد يبدو لأول وهلة أن ضياع جزء من الدالة الموجية داخل الثقب الأسود لن يمنعنا من التنبؤ بالدالة الموجية خارج الثقب الأسود. إلا أنه يثبت في النهاية أن هذا الضياع يعوق بالفعل ذلك التنبؤ، الأمر الذي يمكن إدراكه عندما ننظر أمر تجربة فكرية طرحها أينشتين وبوريس بودولسكي وناتان روزين في ثلاثينيات القرن العشرين.

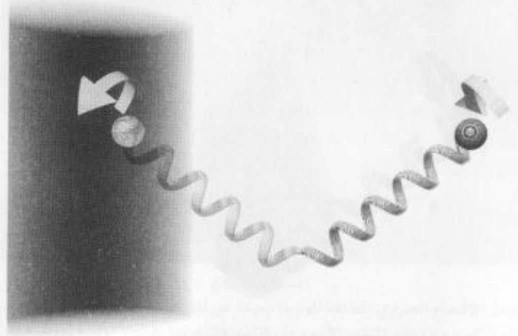


الشكل (١٤ ـ ٤)

هناك تجربة فكرية لأينشتين ـ بودولسكي ـ روزين، وفيها أن الملاحظ الذي يقيس برم أحد الجسيمات سيعرف اتجاه برم الجسيم الثاني.

دعنا نتصور أن هناك ذرة مشعة تضمحل وتبعث للخارج جسيمين في اتجاهين متضادين، ولكل جسيم منهما برم في اتجاه مضاد. عندما ينظر أحد الملاحظين إلى جسيم واحد، فإنه لا يستطيع أن يتنبأ بما إذا كان سينبرم إلى اليمين أو اليسار. ولكن عندما يقيس الملاحظ أنه ينبرم إلى اليمين، فإنه يستطيع أن يتنبأ في يقين بأن الجسيم الآخر سينبرم إلى اليسار، والعكس بالعكس (الشكل ١٤-٤). ظن أينشتين أن هذا فيه ما يثبت أن نظرية الكم نظرية مضحكة: فالجسيم الآخر ربما يكون الآن عند الجانب الآخر من المجرة، وإن كان سيعرف في التو الاتجاه الذي ينبرم فيه. على أي حال يتفق معظم العلماء الآخرين على أن أينشتين هو الذي كان مبلبلا في ذلك وليس

نظرية الكم. لا يتضح من التجربة الفكرية التي أجراها أينشتين وبودولسكي وروزين أننا نستطيع إرسال معلومات بسرعة أكبر من الضوء. ولعل ذلك هو الذي سيكون الجزء المضحك فيها، فنحن لا نستطيع أن «نختار» أن يقاس برم أحد جسيماتنا إلى اليمين، ومن ثم لا نستطيع أن نحكم بأن جسيم الملاحظ البعيد ينبغي أن يكون برمه لليسار.

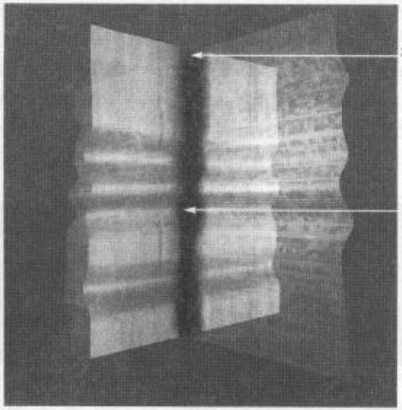


الشكل (٤.١٥)

يكون لزوج الجسيمين الافتراضيين دالة موجية تتنبأ بأن الجسيمين يكون لهما برم متضاد، ولكن عندما يسقط أحدهما في الثقب الأسود سيكون من المحال أن نتنبأ بيقين ببرم الجسيم الباقي.

الحقيقة أن هذه التجربة الفكرية هي ما يحدث بالضبط بالنسبة إلى إشعاع الثقب الأسود. فزوج الجسيمين الافتراضيين سيكون له دالة موجية تتنبأ بأن الجسيمين يكون لكل منهما بالتأكيد برم في اتجاه مضاد (الشكل١٥-٤). أما ما نود أن نفعله فهو أن نتنبأ ببرم الجسيم المتجه للخارج هو ودالته الموجية، الأمر الذي نستطيع فعله إذا استطعنا ملاحظة الجسيم الذي هوى للداخل. ولكن هذا الجسيم موجود الآن داخل الثقب الأسود، حيث لا يمكن قياس برمه ودالته الموجية. وبسبب ذلك لن يكون ممكنا أن نتنبأ بالبرم أو الدالة الموجية للجسيم الذي يهرب، فمن الممكن أن يكون له أي من اتجاهات برم مختلفة ودالات موجية مختلفة، لها

احتمالات شتى، ولكنه لا يكون له برم وحيد أو دالة موجية وحيدة. ومن ثم يبدو أن قدرتنا على التنبؤ بالمستقبل ستزيد انخفاضا. كانت فكرة لابلاس التقليدية تقول إننا نستطيع أن نتنبأ معا بمواضع وسرعات الجسيمات، ثم أصبح من اللازم تعديل هذه الفكرة عندما بين لنا مبدأ عدم اليقين أننا لا نستطيع أن نقيس معا المواضع والسرعات قياسا دقيقا. على أننا مازلنا نستطيع أن نقيس الدالة الموجية وأن نستخدم معادلة شرودنجر للتنبؤ بما ينبغي أن تكونه في المستقبل. ويتيح لنا هذا أن نتنبأ في يقين بتوليفة واحدة للموضع والسرعة. وهذا نصف ما كنا نستطيع التنبؤ به حسب أفكار لابلاس. ونحن نستطيع أن نتنبأ بيقين بأن الجسيمين لهما برم متضاد، ولكن إذا هوى أحد الجسيمين داخل الثقب الأسود، لا يمكننا صنع أي تنبؤ بيقين بشأن الجسيم الباقي. ويعني هذا أنه لا يوجد «أي» قياس خارج الثقب الأسود يمكن التنبؤ به بيقين: وسوف تنخفض قدرتنا على صنع تنبؤات أكيدة إلى الصفر. وهكذا فإن التنجيم قد لا يكون أسوأ من قوانين العلم في التنبؤ بالمستقبل.

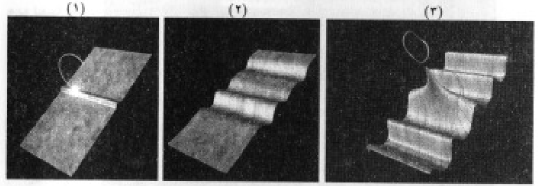


الشكل (١٦ - ٤)

يمكن تصور الثقوب السوداء على أنها تقاطعات لبرانات - p في الأبعاد الإضافية للزمكان. وسيتم تخزين المعلومات عن الأحوال الداخلية للثقوب السوداء كموجات على برانات - p.

لا يحب الكثيرون من الفيزيائيين أن تقل الحتمية هكذا، وبالتالي فقد طرحوا أن المعلومات داخل الثقب الأسود ستتمكن بطريقة ما من أن تخرج من الثقب الأسود. وظل هذا لسنوات مجرد أمل كالخيال بأن نعثر على طريقة ما لإنقاذ هذه المعلومات. على أنه حدث تقدم مهم بهذا الشأن في ١٩٩٦ على يد أندرو سترومنجر و كمرون فافا، فقد اختارا أن يعتبرا أن الثقب الأسود مصنوع من عدد من لبنات تسمى برانات - p (انظر الفصل الثاني).

دعنا نتذكر أن إحدى الطرائق للنظر إلى برانات - p هي أن نعدها كصفحات تتحرك من خلال الأبعاد الثلاثة للمكان، وكذلك أيضا من خلال سبعة أبعاد إضافية لا نلحظها (الشكل ١٦-٤). ونحن نستطيع في حالات معينة أن نبين أن عدد الموجات على برانات - p يكون مماثلا لمقدار المعلومات التي نتوقع أن يحويها الثقب الأسود. وإذا ارتطمت الجسيمات ببرانات - p فإنها تستثير موجات إضافية على البرانات. وعلى نحو مماثل، إذا حدث للموجات، التي تتحرك في اتجاهات مختلفة على برانات - p، أن تجمعت معا عند نقطة ما، فإنها تستطيع أن تكون قمة بالغة الكبر حتى أن جزءا من بران - p ينفصل وينطلق كجسيم. إذن فإن برانات - p تستطيع أن تمتص وتبث الجسيمات مثل الثقوب السوداء (الشكل ١٧-٤).



الشكل (٤.١٧)

يمكننا أن نتصور الجسيم الذي يهوي داخل ثقب أسود على أنه أنشوطة مغلقة لوتر تصطدم بأحد برانات - p (١). وسوف تؤدي إلى استثارة أمواج في بران - p (٢). يمكن للأمواج أن تتجمع معا وتؤدي إلى أن ينفصل جزء من بران - p في شكل وتر مغلق (٣)، وسيكون هذا جسيما يبثه الثقب الأسود.

في وسعنا أن نعتبر أن برانات - p نظرية فعالة، بمعنى أنه في حين أنه لا يلزم علينا أن نعتقد أن هناك فعلا صفحات صغيرة تتحرك خلال مكان - زمان مسطح، إلا أن الثقوب السوداء يمكن أن تسلك وكأنها قد صنعت من هذه الصفحات. والأمر يشبه الماء الذي يتكون من بلايين من جزيئات (يد٢أ) (*) بتفاعلات معقدة. على أن نموذج السائل السلس لهو نموذج جيد جدا في فعاليته. والنموذج الرياضي للثقوب السوداء المكونة من برانات - P يعطي لنا نتائج مماثلة لصورة زوج الجسيمات الافتراضية الذي سبق وصفه. ومن ثم، فإنه من وجهة نظر الوضيعة، نموذج مساو لذلك في جودته، على الأقل فيما يتعلق بطوائف معينة من الثقوب السوداء. وبالنسبة إلى هذه الطوائف يتنبأ نموذج برانات - p بمعدل سرعة بث يماثل بالضبط ما يتنبأ به نموذج زوج الجسيمين الافتراضيين. على أن هناك اختلافا واحدا مهما: ففي نموذج بران - p تكون المعلومات عما يهوى داخل الثقب الأسود مختزنة في الدالة الموجية للموجات التي على برانات - p. وينظر إلى برانات -p كصفحات في المكان الزمان «المسطح»، والزمان لهذا السبب سينساب للأمام بسلاسة، ولن تنحني مسارات أشعة الضوء، ولن يضيع ما في الموجات من معلومات. وبدلا من ذلك سوف تنبثق المعلومات في النهاية خارجة من الثقب الأسود في الإشعاع الآتي من برانات - p. وبالتالي، فإنه حسب نموذج بران - p، نستطيع أن نستخدم معادلة شرودنجر لحساب ما ستكونه الدالة الموجية في أوقات لاحقة. وما من شيء سيضيع، وسوف ينساب الزمان متصلا في سلاسة. وسيكون لدينا حتمية كاملة بالمعنى الكمومي.

إذن، أي من هذه الصور هي الصورة الصحيحة؟ هل يضيع جزء من الدالة الموجية هاويا أسفل الثقوب السوداء، أم أن المعلومات كلها ستخرج ثانية، كما يطرح نموذج بران - p؟ هذا واحد من الأسئلة البارزة الآن في الفيزياء النظرية. يعتقد أفراد كثيرون أن الأبحاث الأخيرة تبين أن المعلومات لا تضيع. فالعالم آمن وقابل للتنبؤ، ولن يحدث فيه أي شيء غير متوقع. على أن الأمر ليس واضحا بعد. لو أخذنا نظرية أينشتين عن

(*) الرمز الكيماوي لجزيء الماء الذي يتكون باتحاد ذرتي هيدروجين (يد٢) وذرة أكسجين (أ) (المترجم).

النسبية العامة مأخذا جديا، يجب أن نسمح بإمكان أن يحدث أن يربط المكان - الزمان نفسه في عقدة فتضيع المعلومات في الثنايا. في رواية للخيال العلمي عندما مرت سفينة النجوم «انتربرايز» خلال ثقب دودي، حدث أمر ما غير متوقع. وأنا أعرف ذلك لأني كنت على ظهرها ألعب «البوكر» مع نيوتن وأينشتين وداتا. وقد حدثت لي مفاجأة كبيرة، فقد وجدت مارلين مونرو تجلس فوق ركبتي!

5 حماية الماضي

هل السفر في الزمان ممكن؟

هل يمكن لحضارة متقدمة أن تعود وراء وتغير الماضي؟

> وثيقة رهان
>
> حيث أن ستيفن و. هوكنج (وقد خسر رهانا سابقا على هذا الموضوع بسبب عدم المطالبة بامتيازات خاصة) مازال يعتقد اعتقادا جازما أن المفردات العارية هرطقة لعينة ينبغي حظرها حسب قوانين الفيزياء الكلاسيكية، وحيث أن جون بريسكل هو وكيب ثورن (وقد ربحا الرهان السابق) مازالا يعتبران أن المفردات العارية هي أجرام كم - جذبوية قد يكون لها وجودها، وهي غير مكتسية بأي آفاق، بحيث يراها الكون كله.
>
> ومن ثم فإن هوكنج يطرح رهانا، يوافق على الدخُول فيه بريسكل / ثورن، وذلك عن أنه «عندما يكون هناك أي شكل كلاسيكي من المادة أو المجالات ليست لديه القدرة على أن يصبح مفردة في المكان - الزمان المسطح، ويكون مقرونا بالنسبية العامة عن طريق معادلات أينشتين الكلاسيكية، سنجد عندها أن:
>
> التطور الديناميكي من الظروف الابتدائية التكوينية (أي من مجموعة مفتوحة من المعطيات الابتدائية) لا يمكن له قط أن ينتج مفردة عارية (جيوديسى من + I منقوص - منصرم معدوم القيمة).
>
> الخاسر عليه أن يزود الرابح بملابس تستر عرى الرابح. ويجب أن تكون الملابس مطرزة برسالة تنازلات حقيقية مناسبة.
>
> بصمة — توقيعات
>
> ستيفن و. هوكنج — جون. بريسكل و كيب س. ثورن
>
> باسادينا، كاليفورنيا، ٥ فبراير ١٩٩٧

«ليس لدينا أي دليل يوثق به عن زوار يأتون من المستقبل».

المؤلف

كيب ثورن زميل وصديق لي، وقد دخلنا معا في عدد من الرهانات (انظر الصفحة السابقة)، وهو ليس بالذي يتبع الخط المتفق عليه في الفيزياء لمجرد أن كل واحد غيره يفعل ذلك. وقد أدى به هذا إلى أن تكون لديه الشجاعة ليكون أول عالم جاد يناقش السفر في الزمان كاحتمال عملي.

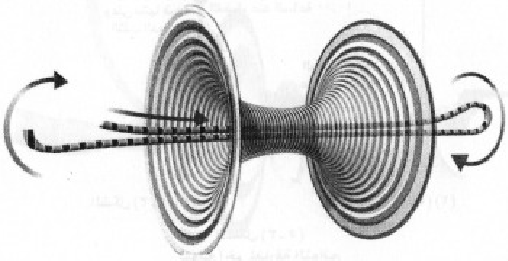
يتطلب الأمر براعة وحذرا عندما نُعمل التفكير علنا حول السفر في الزمان. ذلك أن المرء يتعرض عندها لمخاطر إثارة الاحتجاج عليه بأنه يضيع الأموال العامة في إنفاقها على شيء مضحك، أو للمطالبة بأن يصنَّف بحث كهذا على أنه سري لأغراض عسكرية. وعلى كل، كيف يمكن أن نحمي أنفسنا من شخص لديه آلة سفر في الزمان؟ لعله سيغير التاريخ ويحكم العالم. ليس غير قلة منا يصل بهم التهور إلى أن يبحثوا في موضوع يعد في دوائر علم الفيزياء أمرا بالغ الخطأ سياسيا. ونحن نضع قناعا تنكريا على الحقائق، بأن نستخدم مصطلحات فنية تكون بمنزلة الشفرة للسفر في الزمان.



الشكل (١ - ٥)
سفينة فضاء تواصل السفر فوق انشوطة خلال زمكان منحن.

تعتبر نظرية النسبية العامة لأينشتين أساس كل المناقشات الحديثة عن السفر في الزمان. وقد رأينا في فصول سابقة أن معادلات أينشتين قد جعلت المكان والزمان في حالة دينامية بأن وصفت لنا كيف أنهما ينحنيان ويتشوهان بفعل المادة والطاقة الموجودة في الكون. سنجد حسب النسبية العامة أن الزمان الشخصي للأفراد كما تقيسه ساعاتهم يظل دائما يتزايد، تماما مثلما كان يتزايد في نظرية نيوتن أو في المكان. الزمان المسطح في النسبية الخاصة، على أن لدينا الآن ذلك الاحتمال بأن يكون الزمكان منحنيا إلى حد بالغ بحيث نستطيع أن ننطلق في رحلة بسفينة فضاء ونعود عند زمن يسبق زمن بدء الرحلة (الشكل ١ - ٥).

إحدى الطرائق التي يمكن أن يحدث بها ذلك هي لو كانت هناك ثقوب دودية، أي أنابيب المكان - الزمان التي ذكرناها في الفصل الرابع، والتي توصل بين المناطق المختلفة من المكان والزمان. والفكرة هي أن المرء سيوجه سفينة الفضائية داخل فتحة ثقب دودي ليخرج من الفتحة الأخرى عند مكان وزمان آخرين (الشكل ٢ - ٥)، والشكل (٣ - ٥).



الشكل (٢ - ٥)
(١) ستيفن هوكنج يدخل في ثقب دودي في ٦ فبراير ١٩٩٧
(٢) يثبت في المستقبل أن التطور الدينامي للظروف الابتدائية التكوينية لا يمكن أن ينتج عنه مفردة عارية.
(٣) هوكنج يعود في ٥ فبراير ١٩٩٧ ليوقع رهانا موثوقا به.



الشكل (٣-٥) (١)



الشكل (٣-٥) (٢)

الشكل (٣-٥) (٣)

الشكل (٣-٥)

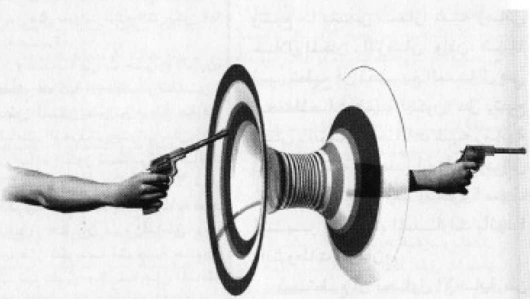
تنويع آخر لمفارقة التوائم

(١) إذا كان هناك ثقب دودي له طرفان قريبان معا، سيمكن للمرء أن يسير خلال الثقب الدودي ويخرج منه عند الوقت نفسه.

(٢) نستطيع أن نتخيل أخذ أحد طرفي الثقب الدودي في رحلة طويلة بينما يبقى الطرف الآخر على الأرض.

(٣) بسبب ظاهرة مفارقة التوائم، عندما تعود سفينة الفضاء، يكون مقدار ما انقضى من وقت بالنسبة إلى الفوهة التي تحويها السفينة أقل مما بالنسبة إلى الفوهة التي تبقى على الأرض. ويعني هذا أن المرء عندما يخطو داخل الفوهة الأرضية، يستطيع أن يخرج من سفينة الفضاء عند وقت أكثر تبكيرا.

إذا كان للثقوب الدودية وجود فسيكون فيها الحل لمشكلة حد السرعة في المكان: سيستغرق الأمر عشرات الآلاف من السنين حتى نعبر المجرة في سفينة فضاء تسافر بسرعة أقل من سرعة الضوء، كما يلزم حسب النسبية. ولكننا قد نذهب من خلال ثقب دودي إلى الجانب الآخر من المجرة ثم نعود في الوقت المناسب لتناول وجبة الغذاء. على أننا نستطيع أن نبين أنه إذا كانت الثقوب الدودية موجودة، فإن المرء يستطيع أيضا استخدامها للعودة في زمن يسبق زمن بدء الرحلة وبالتالي فربما يفكر المرء في أنه يستطيع أن يفعل شيئا ما مثل نسف الصاروخ فوق منصة إطلاقه ليمنع أصلا بدء الرحلة. وهذا تنويع على مفارقة الجد: ما الذي يحدث لو عاد المرء وراء في الزمان وقتل جده قبل أن يتم الحمل بوالده؟ (الشكل ٤-٥).



الشكل (٤-٥)

هل يمكن لرصاصة تطلق خلال ثقب دودي في زمن مبكر أن تؤثر في الشخص الذي أطلقها؟

الأوتار الكونية

الأوتار الكونية أشياء طويلة ثقيلة لها قطاع عرضي دقيق، ربما قد نتجت خلال الأطوار المبكرة من الكون. وما أن تشكلت الأوتار الكونية، حتى زادت امتدادا بواسطة تمدد الكون، ويمكن حاليا لوتر كوني واحد أن يمر عبر كل الكون الذي يمكننا رصده.

جرى طرح وجود الأوتار الكونية بواسطة النظريات الحديثة للجسيمات التي تتنبأ بأن «المادة كانت في المراحل المبكرة من الكون في طور سمتري، بما يشبه كثيرا سائل الماء - وهو سائل سمتري: أي يتماثل عند كل نقطة في كل اتجاه - وليس مثل بلورات الثلج التي يكون لها بنية متميزة».

وعندما بردت حرارة الكون، أصبح ممكنا أن تتكسر سمترية الطور المبكر بطرائق مختلفة في المناطق البعيدة. ويترتب على ذلك أن مادة الكون تستقر في حالات ارضية مختلفة. والأوتار الكونية هي تشكيلات المادة عند الحدود ما بين هذه المناطق. ومن ثم، فإن تكوينها نتيجة حتمية تترتب على حقيقة فإن المناطق المختلفة لا يمكن أن تتفق في حالاتها الأرضية.

بالطبع لا تكون هذه مفارقة إلا إذا كنا نؤمن بأن لدينا الإرادة الحرة لأن نفعل ما نشاء عندما نذهب وراء في الزمان. لن يدخل هذا الكتاب في نقاش فلسفي عن الإرادة الحرة. وسنركز بدلا من ذلك على ما إذا كانت قوانين الفيزياء تتيح للمكان - الزمان أن يكون بالغ الانحناء بدرجة أن يتمكن جسم ماكروسوكوبي مثل سفينة الفضاء من العودة إلى ماضيه الخاص به. حسب نظرية أينشتين فإن سفينة الفضاء تنتقل بالضرورة بسرعة أقل من سرعة الضوء المحلية وتتبع ما يسمى مسارا شبه زماني خلال المكان - الزمان. وإذن، فإننا نستطيع أن نصيغ السؤال في مصطلحات فنية ليكون: هل يتيح المكان - الزمان انحناءات شبه زمانية تكون مغلقة - بمعنى أنها تعود إلى نقطة بدايتها المرة بعد الأخرى؟ سوف أشير إلى هذه المسارات بأنها «أنشوطات الزمان».

نستطيع أن نحاول الإجابة عن هذا السؤال على ثلاثة مستويات. الأول هو نظرية النسبية العامة لأينشتين، التي تفترض أن الكون له تاريخ محدد بدقة ليس فيه أي عدم يقين. ولدينا صورة مكتملة إلى حد كبير عن هذه النظرية الكلاسيكية. على أن هذه النظرية كما سبق أن رأينا، لا يمكن أن تكون صحيحة تماما، لأن المادة كما لاحظنا تتعرض لعدم اليقين ولتراوحات الكمومية.

يمكننا إذن أن نتناول سؤال السفر في الزمان على مستوى ثان، مستوى نظرية نصف كلاسيكية. سنعتبر في هذه النظرية أن المادة تسلك حسب نظرية الكم، أي بعدم يقين وبتراوحات كمومية، ولكن المكان - الزمان كلاسيكي ومحدود بدقة. الصورة هنا تكون أقل اكتمالا، إلا أن لدينا على الأقل بعض فكرة عن طريقة الشروع في العمل.

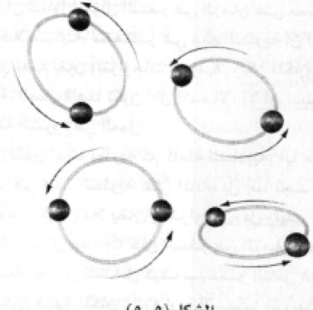
وأخيرا، أن تكون لدينا نظرية كم كاملة للجاذبية، أيا ما يكونه ذلك. ولن يقتصر الأمر في هذه النظرية على المادة، بل إننا نجد أيضا أن الزمان والمكان أنفسهما يكونان بلا يقين ومتراوحين، بل وليس من الواضح حتى كيف نضع هنا السؤال عما إذا كان السفر في الزمان ممكنا. ولعل أفضل ما يمكن أن نفعله هو أن نتساءل كيف سيفسر الناس قياساتهم وهم في المناطق التي يكون فيها المكان - الزمان كلاسيكيا تقريبا وخاليا من عدم اليقين. هل سيعتقدون أن السفر في الزمان يحدث في مناطق ذات جاذبية شديدة وتراوحات كمومية كبيرة؟

دعنا نبدأ بالنظرية الكلاسيكية: المكان - الزمان المسطح في النسبية الخاصة (النسبية من غير جاذبية) لا يتيح السفر في الزمان، كما لا تتيحه أيضا الزمكانات المنحنية التي عرفت مبكرا. وبالتالي، فقد صدم أينشتين صدمة كبرى في ١٩٤٩ عندما اكتشف كيرت جودل في مبرهنة جودل (انظر المربع) زمكانا هو كون ممتلئ بمادة دوارة، وبه أنشوطات زمان في كل نقطة (الشكل ٥- ٥).

مبرهنة عدم الاكتمال لجودل

اثبت الرياضي كيرت جودل في ١٩٣١ مبرهنته الشهيرة عن عدم الاكتمال بالنسبة إلى طبيعة الرياضيات. تقرر المبرهنة أنه في داخل أي منظومة صورية من البديهيات، مثل الرياضيات الحالية، تبقى هناك دائما أسئلة لا يمكن إثباتها ولا تفنيدها على أساس من البديهيات التي تعين المنظومة. وبكلمات أخرى بيَّن جودل وجود مسائل لا يمكن حلها بأي مجموعة من القواعد أو الإجراءات.

تصنع مبرهنة جودل قيودا أساسية على الرياضيات. وقد أتت بصدمة كبرى للمجتمع العلمي لأنها أطاحت الاعتقاد الشائع بأن الرياضيات منظومة متماسكة كاملة تتأسس على أساس منطقي واحد. مبرهنة جودل، هي ومبدأ عدم اليقين لهايزنبرج، والاستحالة العملية لأن نتابع حتى تطور إحدى المنظومات الحتمية التي تصبح شواشية، هذا كله يشكل مجموعة قيود في الصميم من معرفتنا العلمية، الأمر الذي لم ندركه إلا خلال القرن العشرين.



الشكل (٥ـ٥)

هل يسمح المكان ـ الزمان بوجود انحناءات شبه زمانية تكون مغلقة، وتعود إلى نقطة بدايتها المرة بعد الأخرى؟

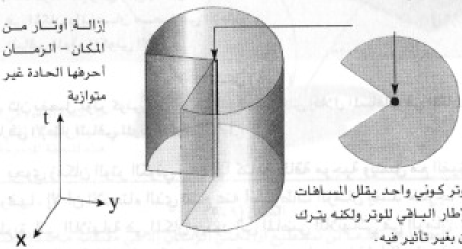
تطلب حل جودل أن يكون هناك ثابتا كونيا، قد يكون أو لا يكون له وجود في الطبيعة، إلا أنه عثر بعد ذلك على حلول أخرى من غير ثابت كوني. إحدى الحالات التي تثير الاهتمام بوجه خاص الحالة التي يتحرك فيها وتران كونيان اثنان أحدهما عبر الآخر بسرعة كبيرة.

ينبغي ألا نخلط بين الأوتار الكونية والأوتار في نظرية الأوتار، وإن كانت الصلة بينهما ليست منعدمة بالكامل. الأوتار الكونية أشياء لها طول ولكنها بقطاع عرضي دقيق. وقد جرى التنبؤ بوجودها في بعض نظريات الجسيمات الأولية. ويكون الزمكان خارج الوتر الكوني الواحد مسطحا. إلا أنه زمكان مسطح قد قطع منه جزء في شكل الوتد، مع وجود الطرف المدبب للوتد عند الوتر. وهو هكذا يشبه مخروطا: مثلما نأخذ دائرة كبيرة من الورق ونقص منها مقطعا يشبه شريحة من فطيرة، أي وتد تكون زاويته عند مركز الدائرة، ثم نبعد المقطع الذي فصلناه ونلصق معا الأحرف المقطوعة لباقي الورقة بحيث يصبح لدينا مخروط. وهذا سيمثل الزمان. المكان الذي يوجد فيه الوتر الكوني (الشكل٦− ٥).

دعنا نلاحظ أنه حيث أن سطح المخروط هو صفحة الورقة المسطحة نفسها التي بدأنا بها (ينقصها المقطع الوتدي) فإننا مازلنا نستطيع أن نقول إنه «مسطح»، فيما عدا عند القمة. ونحن نستطيع أن ندرك أن هناك انحناء عند القمة من حقيقة أن الدائرة حول القمة لها محيط أصغر من الدائرة التي ترسم على المسافة نفسها حول مركز صفحة الورق المستديرة الأصلية. وبكلمات أخرى فإن الدائرة التي حول القمة أصغر مما نتوقعه من دائرة لها نصف القطر هذا في المكان المسطح، وذلك بسبب المقطع الناقص (الشكل ٧− ٥).



الشكل (٦ـ٥)



وتد لوتر كوني واحد يقلل المسافات في الإطار الباقي للوتر ولكنه يترك الزمان بغير تأثير فيه.

الشكل (٧ـ٥)

يحدث مثل ذلك في حالة الوتر الكوني، فالوتد الذي يزال من المكان ـ الزمان المسطح يجعل الدوائر حول الوتر أصغر، ولكنه لا يؤثر في الزمان أو المسافات التي بطول الوتر. ويعني هذا أن المكان ـ الزمان حول الوتر الكوني الواحد لا يحوي أي أنشوطات زمنية، وبالتالي لا يكون في الإمكان أن نسافر في الماضي. على أنه إذا كان هناك وتر كوني ثان يتحرك بالنسبة للوتر الأول، فإن اتجاه زمانه سيكون توليفة من اتجاهات الزمان والمكان للوتر الأول. ويعني هذا أن الوتد الذي اقتطع للوتر الثاني سيقلل المسافات في الفترات الفاصلة في المكان والزمان معا، كما يراها شخص يتحرك مع الوتر الأول (الشكل ٨ – ٥). وإذا كانت الأوتار الكونية يتحرك أحدها بالنسبة إلى الآخر بسرعة الضوء تقريبا، فإن توفير الوقت بالدوران حول الوترين معا قد يكون توفيرا بالغ الكبر إلى درجة أن يصل المرء عائدا قبل أن يبدأ الرحيل. وبكلمات أخرى ستكون هناك أنشوطات زمانية يستطيع المرء اتباعها ليسافر في الماضي.



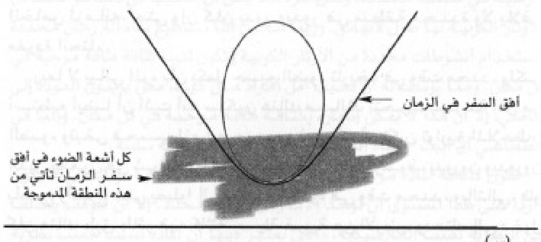
الشكل (٨ ـ ٥)

وتد ثان يفصل لوتر كوني آخر متحرك، فيؤدي إلى إقلال المسافات في المكان والزمان معا في الإطار الباقي للوتر الكوني الأول.

يحوي زمكان الوتر الكوني مادة لها كثافة طاقة موجبة ويتسق مع الفيزياء التي نعرفها. إلا أن الانحناء الذي تنتج عنه أنشوطات الزمان يمتد خارجا عبر كل الطريق إلى اللانهاية في المكان ويعود إلى الماضي اللانهائي في الزمان. وبالتالي فإن هذه الزمكانات قد تكونت وهي تحوي معها من داخلها السفر في الزمان. لا يوجد أي سبب يجعلنا نؤمن بأن كوننا قد تكون بهذا النمط الانحنائي، وليس

لدينا أي دليل يوثق به عن زوار يأتون من المستقبل. (وأنا هنا أهمل نظرية التآمر التي تقول إن هناك أطباقا طائرة من المستقبل وإن الحكومة تعرف ذلك وتغطي عليه. ذلك أن سجل الحكومة في أعمال التغطية ليس بارعا هكذا). من ثم، فسوف أفترض أنه لم تكن توجد أنشوطات زمان في الماضي البعيد، أو بدقة أكثر أنها لم توجد في ماضي سطح ما خلال الزمكان، سأرمز له بحرف (س ـ S). سيكون السؤال إذن: هل تستطيع إحدى الحضارات المتقدمة أن تبني آلة سفر في الزمان؟ بمعنى هل ستستطيع أن تعدل المكان ـ الزمان إلى مستقبل س (أي فوق السطح س في الرسم التوضيحي) بحيث تظهر أنشوطات زمنية في منطقة محددة؟ وأنا أقول منطقة محددة لأنه مهما أصبحت إحدى الحضارات متقدمة، فإنها فيما يفترض لن نستطيع التحكم إلا في جزء محدد من الكون.

عندما نجد في العلم الصياغة الصحيحة لإحدى المسائل، فإن هذا كثيرا ما يكون المفتاح لحلها، وهناك مثل جيد لذلك. حتى أعرّف ماذا كان المقصود بآلة للزمان المحدد، رجعت لبعض أبحاث مبكرة لي. السفر في الزمان يكون ممكنا في منطقة المكان ـ الزمان التي يوجد فيها أنشوطات زمنية، مسالك تتحرك بسرعة أقل من الضوء ولكنها مع ذلك تتمكن من العودة إلى المكان والزمان الذي بدأت منه وذلك بسبب انحناء الزمكان. وحيث أني افترضت أنه لا توجد أنشوطات زمنية في الماضي البعيد، فلابد من أن هناك ما أسميه «أفق السفر في الزمان»، أي الحد الذي يفصل منطقة الأنشوطات الزمنية عن المنطقة التي لا توجد فيها (الشكل ٩ ـ ٥).



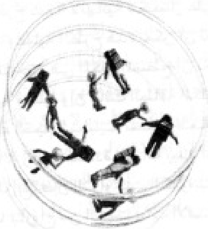
الشكل (٩ ـ ٥)

حتى أكثر الحضارات تقدما لن تستطيع أن تحني الزمكان إلا في منطقة محددة. يتشكل أفق سفر الزمان، أي حد جزء الزمكان الذي يمكن السفر فيه إلى ماضي المرء، يتشكل بواسطة أشعة ضوء تنبثق من مناطق محددة.

تشبه آفاق السفر في الزمان إلى حد كبير آفاق الثقوب السوداء. وبينما يتشكل أفق الثقب الأسود بأشعة الضوء التي تفلت بالكاد من السقوط داخل الثقب الأسود، فإن أفق السفر بالزمان يتشكل بأشعة الضوء التي على وشك أن تلتقي مع نفسها. وهكذا فإني أعتبر أن معياري لآلة الزمان هو ما أسميه الأفق الذي يتولد متحددا. أي الأفق الذي يتشكل بأشعة ضوء تنبثق كلها من منطقة محددة. وبكلمات أخرى فإنها ليست آتية من لانهاية أو من مفردة، وإنما تنبع من منطقة محددة تحوي أنشوطات زمانية. أي منطقة من النوع الذي يُفترض أن تخلقه حضارتنا المتقدمة.

عندما نتخذ هذا التعريف كطبعة لقدم آلة الزمان، ستكون لدينا ميزة أن نستطيع استخدام الآلية التي أنشأتها أنا وروجر بنروز لدراسة المفردات والثقوب السوداء. وسوف أتمكن من أن أوضح، حتى من غير استخدام معادلات أينشتين، أنه بصفة عامة سنجد أن الأفق الذي يتولد متحددا سوف يحوي شعاعا ضوئيا يلتقي مع نفسه بالفعل. بمعنى أنه شعاع ضوء يواصل العودة إلى النقطة نفسها المرة بعد الأخرى. ويحدث في كل مرة يدور فيها الضوء عائدا أنه سيزداد إزاحة للأزرق، وبالتالي تصبح الصور أكثر وأكثر زرقة. وتصبح قمم أمواج النبضة الضوئية أكثر وأكثر تقاربا معا، ويدور الضوء على فترات أقصر من زمانه. والحقيقة هي أن جسيم الضوء لا يكون له إلا تاريخ محدد، كما يعينه قياسه الخاص لزمانه، حتى وإن كان يدور ويدور في منطقة محددة ولا يلاقي مفردة انحناء.

ربما لا يبالي المرء بأن يكمل جسيم الضوء تاريخه في وقت محدد. ولكني أستطيع أيضا أن أثبت أنه ستكون هناك مسالك تتحرك بسرعة أقل من الضوء وتبقى فحسب لزمن محدد. وهذه يمكن أن تكون تواريخ الملاحظين الذين يقعون في شرك منطقة محددة قبل الأفق وسوف يدورون ويدورون بأسرع وأسرع حتى يصلوا إلى سرعة الضوء في وقت محدد. وبالتالي، فلو كان هناك طبق طائر فيه كائنة جميلة غريبة عن الأرض، ودعتك إلى دخول آلة زمانها، فسيكون عليك أن تخطو في حذر. ذلك أنك قد تهوي في شرك واحد من تلك التواريخ الفخية المتكررة التي لا تبقى إلى زمن محدد (الشكل ١٠ – ٥).

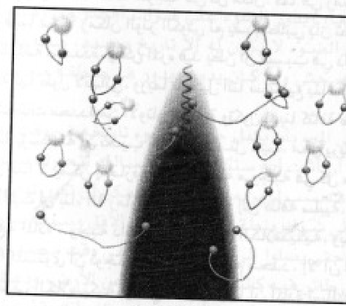


الشكل (١٠ ـ ٥)
خطر السفر في الزمان

لا تعتمد هذه النتائج على معادلات أينشتين وإنما تعتمد فقط على الطريقة التي يلزم بها انحناء المكان. الزمان لتنتج أنشوطات زمانية في منطقة محددة. على أي حال، فإننا يمكننا الآن أن نسأل عما يكونه نوع المادة التي يلزم أن تستخدمها الحضارة المتقدمة لتحني المكان. الزمان بحيث تبني آلة زمان ذات حجم متحدد. هل يمكن أن تكون لها كثافة طاقة موجبة في كل مكان، كما في زمكان الوتر الكوني الذي وصفته فيما سبق؟ زمكان الوتر الكوني لم يف بمطلبي بأن تظهر الأنشوطات الزمنية في منطقة محددة. ولكن المرء قد يظن أن السبب في ذلك هو فقط أن الأوتار الكونية لها طول لانهائي. وربما نتخيل أننا نستطيع بناء آلة زمان محددة باستخدام أنشوطات محددة من الأوتار الكونية وتكون لدينا كثافة طاقة موجبة في كل مكان. ومما يؤسف له أن نخيب أمل أفراد مثل كيب، ممن يريدون العودة إلى الماضي، إلا أن هذا لا يمكن إنجازه بكثافة طاقة موجبة في كل مكان. وإنما في استطاعتي أن أثبت أن بناء آلة زمان محددة يحتاج إلى طاقة سلبية.

تكون كثافة المادة موجبة دائما في النظرية الكلاسيكية، وبالتالي لا يكون واردا على هذا المستوى أن توجد آلات زمن بحجم محدد. إلا أن الموقف يختلف في النظرية نصف الكلاسيكية، والتي نعتبر فيها أن المادة تسلك حسب نظرية الكم ولكن المكان. الزمان يكون كلاسيكيا ومحددا بدقة. وكما سبق أن رأينا، فإن مبدأ عدم اليقين في نظرية الكم يعني أن المجالات تتراوح دائما إلى أعلى وأسفل حتى فيما يبدو ظاهريا أنه فضاء خاو، ولها كثافة طاقة تكون لانهائية.

ومن ثم يكون علينا أن نطرح كمية لانهائية لنحصل على كثافة الطاقة المحددة التي نلاحظها في الكون. وعملية الطرح هذه يمكن أن تخلف كثافة طاقة سلبية، على الأقل محليا. ويمكننا حتى في المكان المسطح أن نجد حالات كمومية تكون كثافة الطاقة فيها سلبية محليا وإن كانت الطاقة الكلية إيجابية. وقد يتساءل المرء عما إذا كانت هذه القيم السلبية تسبب فعلا انحناء المكان. الزمان بالطريقة المناسبة لبناء آلة زمان محددة، إلا أنه يبدو أنها يجب أن تسبب ذلك. وكما رأينا في الفصل الرابع، فإن التراوحات الكمومية تعني أنه حتى ما يبدو كفضاء خاو يكون مليئا بأزواج من الجسيمات الافتراضية التي تظهر معا، وتتحرك متباعدة، ثم تعود إلى الانضمام مع ليفني أحدها الآخر. ويكون لأحد الفردين من زوج الجسيمين الافتراضيين طاقة موجبة بينما يكون للآخر طاقة سلبية. إذا وجد ثقب أسود، فإن جسيم الطاقة السلبية يمكن أن يهوي داخله بينما يستطيع جسيم الطاقة الموجبة أن يفلت إلى اللانهاية، حيث يظهر كإشعاع يحمل طاقة إيجابية بعيدا عن الثقب الأسود. وتسبب جسيمات الطاقة السلبية التي تهوي داخل الثقب أن يفقد الثقب الأسود من كتلته ويتبخر بطيئا، مع انكماش أفقه في الحجم (الشكل ١١- ٥).



الشكل (١١ - ٥)

التنبؤ بأن الثقوب السوداء تشع وتفقد كتلة يدل على أن نظرية الكم تسبب انسياب طاقة سلبية داخل الثقب الأسود عبر الأفق. حتى ينكمش حجم الثقب الأسود يجب أن تكون كثافة الطاقة عند الأفق سلبية، أي بالعلامة المطلوبة لبناء آلة زمان.

المادة العادية التي لها كثافة طاقة إيجابية يكون لها تأثير شد جذبوي فتحني المكان. الزمان ليسبب انحناء أشعة الضوء ليتجه أحدها إلى الآخر. تماما مثلما تفعل الكرة على البساط المطاط في الفصل الثاني، حيث تجعل كرات البلي الأصغر تنحني دائما متجهة لها ولا تبتعد قط.

يتضمن ذلك أن مساحة أفق الثقب الأسود لا يمكن إلا أن تزيد بالزمان، ولا تنكمش أبدا. وحتى يحدث أن ينكمش أفق ثقب أسود في حجمه، لابد من أن تكون كثافة الطاقة عند الأفق كثافة سلبية تحني المكان. الزمان بحيث يجعل أشعة الضوء يتباعد أحدها عن الآخر. وهذا شيء أدركته للمرة الأولى وأنا ذاهب إلى فراشي بعد زمن قليل من مولد ابنتي. لن أذكر هنا كم مضى على ذلك، إلا أن لدي الآن حفيدا منها.

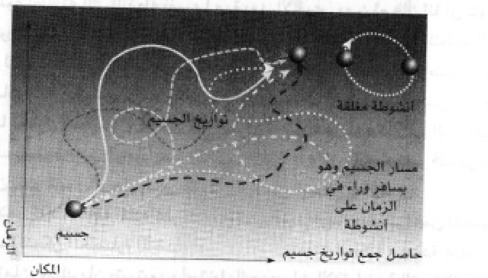
يبين تبخر الثقوب السوداء أنه على مستوى نظرية الكم يمكن أحيانا لكثافة الطاقة أن تكون سلبية وأن تحني الزمكان في الاتجاه اللازم لبناء آلة زمان. وبالتالي يمكن أن نتصور أن بعض حضارة متقدمة جدا تستطيع أن ترتب الأمور بحيث تكون الطاقة سلبية بالقدر الكافي لتشكيل آلة زمان يمكن أن تستخدمها أشياء ماكروسكوبية مثل سفن الفضاء. على أن هناك اختلافا مهما بين أفق الثقب الأسود، الذي يتكون من أشعة ضوء تواصل الانطلاق لا غير، وبين الأفق في آلة الزمان، الذي يحوي أشعة ضوء منغلقة تداوم على أن تدور وتدور. عندما يتحرك جسيم افتراضي على مسار مغلق هكذا سوف يعود بالحالة الأرضية لطاقته إلى النقطة نفسها مرة بعد الأخرى. ومن ثم فإن لنا أن نتوقع أن تكون كثافة الطاقة لانهائية عند الأفق. أي عند حد آلة الزمان، المنطقة التي يمكن للمرء فيها أن يسافر في الماضي. ويؤيد هذا حسابات واضحة في خلفيات معدودة بسيطة بما يكفي لإجراء حسابات مضبوطة. يعني هذا أنه عندما يحاول شخص أو مجس فضائي أن يعبر الأفق ليدخل إلى آلة الزمان فسوف يمسحان من الوجود بصاعقة من الإشعاع. وإذن فإن مستقبل السفر في الزمان يبدو قاتما. أو هل ينبغي القول إنه ناصع البياض بما يعمي؟

تعتمد كثافة طاقة المادة على الحالة التي توجد فيها، وبالتالي فمن المحتمل أنه ربما تتمكن الحضارة المتقدمة من أن تجعل كثافة الطاقة محددة عند حد آلة الزمان، وذلك بأن «تستبعد» أو تزيل الجسيمات الافتراضية التي تظل تدور وتدور في أنشوطة مغلقة. على أنه ليس من الواضح ما إذا كانت آلة زمان كهذه ستكون مستقرة: ذلك أن أقل اضطراب يحدث، مثل أن يجتاز أحدهم الأفق

ليدخل إلى آلة الزمان، ربما يسبب بدء انطلاق الجسيمات الافتراضية الدوارة ويقدح زناد صاعقة برق. وهذه مسألة ينبغي أن يناقشها الفيزيائيون بحرية من دون أن نضحك عليهم في سخرية. بل وحتى إذا ثبت في النهاية استحالة السفر في الزمان، فسيكون من المهم أن نفهم سبب استحالته.

حتى نجيب عن هذا السؤال إجابة أكيدة، يلزم أن ننظر في أمر التراوحات الكمومية، ليس فحسب بالنسبة إلى مجالات المادة، وإنما أيضا بالنسبة للمكان - الزمان نفسه. ربما يتوقع المرء أن هذه الأمور سوف تسبب بعض تشوش في مسارات أشعة الضوء وفي كل مفهوم تنظيم الزمان. والحقيقة أننا يمكن أن نعتبر أن إشعاع الثقوب السوداء هو نوع من التسرب إلى الخارج لأن التراوحات الكمومية للمكان - الزمان تعني أن الأفق ليس محددا بالضبط. وحيث إننا ليس لدينا بعد نظرية كاملة لجاذبية الكم، فإن من الصعب أن نعرف ما ينبغي أن تكونه تأثيرات تراوحات المكان - الزمان. وعلى كل، نستطيع أن نأمل الحصول على بعض مؤشرات من حاصل جمع تواريخ فينمان الذي سبق وصفه في الفصل الثالث.

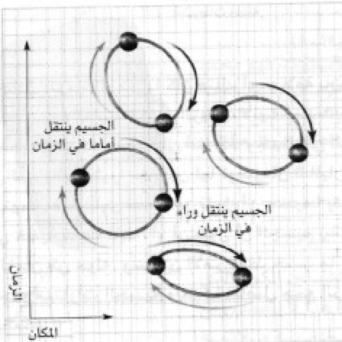
سيكون كل تاريخ هو مكان - زمان محني فيه مجالات للمادة. وحيث إن من المفترض أننا سنجمع كل التواريخ المحتملة، وليس فقط تلك التي تفي ببعض المعادلات، فإن حاصل الجمع يجب أن يتضمن زمكانات محنية بما يكفي للسفر في الماضي (الشكل ١٢- ٥).



الشكل (١٢-٥)

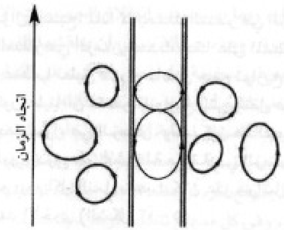
حاصل جمع تواريخ فينمان يجب أن يتضمن التواريخ التي تسافر الجسيمات فيها وراء في الزمان، بل وحتى تلك التواريخ التي تكون أنشوطات مغلقة في الزمان والمكان.

وإذن فإن السؤال يصبح، لماذا لا يحدث السفر في الزمان في كل مكان؟ والإجابة هي أن السفر في الزمان يحدث حقا على المستوى الميكروسكوبي، ولكننا لا نلحظه. عندما نطبق فكرة حاصل جمع تواريخ فيمنان على أحد الجسيمات، فسيكون علينا أن نضمن التواريخ التي ينتقل فيها الجسيم بأسرع من الضوء بل وحتى وراء في الزمان. وسيكون هناك بالذات تواريخ يظل الجسيم فيها يدور ويدور على أنشوطة مغلقة في الزمان والمكان. وسيكون الأمر كما في فيلم «يوم آكل النمل»، حيث كان على مراسل صحفي أن يعيش اليوم نفسه المرة بعد الأخرى (الشكل ١٣- ٥).



الشكل (١٣-٥)

نحن لا نستطيع أن نلاحظ مباشرة الجسيمات التي لها هذه التواريخ ذات الأنشوطات المنغلقة باستخدام كشاف الجسيمات. على أننا نقيس تأثيراتها غير المباشرة في عدد من التجارب. إحدى هذه التجارب هي ما يحدث من إزاحة صغيرة للضوء المنبعث من ذرات هيدروجين، والتي تسببها حركة الإلكترونات في أنشوطات مغلقة. وهناك تجربة أخرى عن وجود قوة صغيرة بين لوحين معدنيين متوازيين تنتج عن حقيقة أن عدد تواريخ الأنشوطات المغلقة للجسيم التي يمكن أن تتلاءم مع منطقة ما بين اللوحين يكون أقل هونا بالمقارنة بعددها في المنطقة خارجهما. وهذا تفسير آخر مكافئ لظاهرة كاسيمير. وهكذا تثبت التجربة وجود تواريخ الأنشوطات المغلقة (الشكل١٤- ٥).



الشكل (١٤ـ ٥)

قد يجادل المرء حول ما إذا كان هناك أي علاقة بين تواريخ الأنشوطات المغلقة للجسيم وانحناء المكان ـ الزمان، لأنها تحدث حتى في الخلفيات الثابتة مثل المكان المسطح. على أننا قد وجدنا في السنوات الأخيرة أن الظواهر الفيزيائية كثيرا ما يكون لها توصيفان ثنائيان، كلاهما يتساويان في صحتهما. فيتساوى صحة أن نقول أن جسيما يتحرك على أنشوطة مغلقة في خلفية معينة ثابتة، أو أن نقول أن الجسيم يبقى ثابتا بينما يتراوح المكان والزمان من حوله. وسيكون الأمر فقط حسب ما إذا كنا سنجري أولا حاصل جمع مسارات الجسيم وبعدها حاصل جمع الزمكانات المنحنية، أو العكس بالعكس.

يبدو بالتالي أن نظرية الكم تتيح السفر في الزمان بالمقياس الميكروسكوبي. على أن هذا لا يفيد كثيرا في أغراض روايات الخيال العلمي، مثل أن يحدث أن يعود أحدهم وراء في الزمان ويقتل جده. وإذن فإن السؤال يكون: هل يمكن أن يصل الاحتمال في حاصل جمع التواريخ إلى الذروة حول زمكانات لها أنشوطات زمان ماكروسكوبية؟

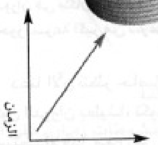
نستطيع أن نبحث هذا السؤال بأن ندرس حاصل جمع تواريخ مجالات المادة في سلسلة من زمكانات الخلفية التي تزداد وتزداد قربا من إتاحة أنشوطات الزمان. وفي وسعنا أن نتوقع حدوث شيء درامي عندما تظهر أنشوطات الزمان لأول مرة، وهناك ما يؤيد ذلك في مثل بسيط درسته مع تلميذي مايكل كاسيدي.

كانت زمكانات الخلفية في السلسلة التي درسناها لها علاقة وثيقة بما يسمى كون أينشتين، المكان ـ الزمان الذي طرحه أينشتين عندما كان يعتقد أن الكون ستاتيكي ولا يتغير بالزمان، أي لا يتمدد ولا يتقلص (انظر الفصل الأول). ينساب الزمان في كون أينشتين من ماض لانهائي إلى مستقبل لانهائي. إلا أن اتجاهات المكان تكون محددة ومغلقة على نفسها مثل سطح الأرض، ولكن مع وجود بعد زائد آخر. ويمكننا أن نتصور هذا المكان ـ الزمان في شكل أسطوانة يكون محورها الطولي هو اتجاه الزمان وقطاعها العرضي هو اتجاهات المكان الثلاثة (الشكل ١٥ـ ٥).



الشكل (١٥ـ ٥)

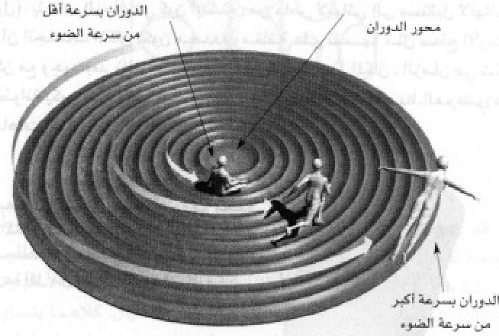
يشبه كون أينشتين الأسطوانة: فهو محدد في المكان وثابت في الزمان. وكنتيجة لحجمه المحدد، فإنه يستطيع الدوران بسرعة أقل من سرعة الضوء في كل مكان.



لا يمثل كون أينشتين الكون الذي نعيش فيه، لأن كونه هذا لا يتمدد. ومع ذلك فهو يزودنا بخلفية ملائمة نستخدمها عندما نناقش السفر في الزمان، لأنه بسيط بما يكفي بحيث نستطيع عمل حاصل جمع التواريخ.

دعنا ننسى في هذه اللحظة السفر في الزمان، ولننظر أمر المادة في كون لأينشتين يدور حول محور ما. عندما يكون المرء عند المحور، فإنه يستطيع أن يبقى عند النقطة نفسها من المكان، مثلما يحدث عندما نقف عند المركز من أرجوحة أطفال دائرية. أما إذا لم نكن عند المحور، فسوف نتحرك خلال المكان ونحن ندور حول المحور. وكلما زدنا بعدا عن المحور زادت سرعة حركتنا (الشكل ١٦ـ ٥). وبالتالي إذا كان الكون لانهائيا في المكان، فإن النقط البعيدة بعدا كافيا عن المحور يلزم لها أن تدور بأسرع من الضوء. ولكن كون

أينشتين محدد في اتجاهات المكان، ولهذا تكون هناك سرعة حرجة للدوران، وسنتبين أنه عند أي سرعة أقل منها لن يوجد أي جزء من الكون يدور بسرعة أكبر من الضوء.

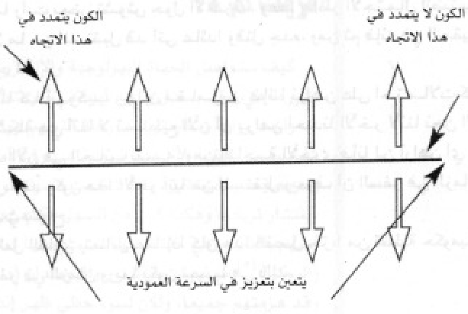


الشكل (١٦-٥)

الدوران في مكان مسطح: الدوران الجاسئ في مكان مسطح يكون عند الابتعاد عن المحور بسرعة أكبر من سرعة الضوء.

دعنا الآن ننظر حاصل جمع تواريخ جسيم في كون أينشتين الدوار. عندما يكون الدوران بطيئا، تكون هناك مسارات كثيرة يمكن أن يتخذها الجسيم باستخدام قدر معين من الطاقة. وبالتالي فإن حاصل جمع كل تواريخ الجسيم في هذه الخلفية تكون له سعة كبيرة. ويعني هذا أنه يوجد في هذه الخلفية درجة عالية من الاحتمال في حاصل جمع كل تواريخ الزمكان المحني. بمعنى أنه يكون بين التواريخ الأكثر احتمالا. ولكن اقتراب سرعة دوران كون أينشتين من القيمة الحرجة، بحيث تتحرك أحرفه الخارجية بسرعة تقارب سرعة الضوء، لن يكون هناك إلا مسار واحد للجزيء يتاح كلاسيكيا عند هذا الحرف، أعني المسار الذي يتحرك بسرعة الضوء. ويعني هذا أن حاصل جمع تواريخ الجسيم يكون صغيرا. وبالتالي فإن الاحتمال في هذه الخلفيات يكون منخفضا في حاصل جمع كل تواريخ الزمكان المنحني، بمعنى أنها تكون الأقل احتمالا.

ما علاقة أكوان أينشتين الدوارة بالسفر في الزمان وبأنشوطات الزمان؟ الإجابة هي أنها رياضيا تكافئ الخلفيات الأخرى التي تتيح بالفعل أنشوطات الزمان. وهذه الخلفيات الأخرى هي أكوان تتمدد في اتجاهين للمكان. ولا تتمدد هذه الأكوان في الاتجاه الثالث للمكان، فهو اتجاه دوري. بمعنى أننا عندما نقطع مسافة معينة في هذا الاتجاه، سنعود إلى حيث بدأنا. ولكننا مع كل مرة ننهي فيها جولة دائرية في الاتجاه الثالث، تتزايد سرعتنا في الاتجاه الأول أو الثاني (الشكل ١٧- ٥).



الشكل (١٧ - ٥)
خلفية بانحناءات شبه زمانية مغلقة.

إذا كان تعزيز السرعة صغيرا لا تكون هناك أنشوطات زمان. على أي حال، دعنا ننظر أمر تتابع من الخلفيات مع تعزيزات متزايدة للسرعة. ستظهر الأنشوطات الزمانية عند تعزيز حرج معين. ولن يثير دهشتنا أن يكون هذا التعزيز الحرج مناظرا لسرعة الدوران الحرجة لأكوان أينشتين. وحيث أن حسابات حاصل جمع التواريخ في هذه الخلفية تتكافأ رياضيا، فإنه يمكننا أن نستنتج أن الاحتمال بهذه الخلفيات يصل إلى الصفر أثناء اقترابها من الانحناء اللازم لأنشوطات الزمان. وبكلمات أخرى فإن احتمال أن يكون هناك انحناء يكفي لوجود آلة زمان هو صفر. وهذا يدعم ما أسميه «حدس حماية التقويم الزمني» (Chronology) الذي يقول: إن قوانين الفيزياء تتآمر لمنع الأشياء الماكروسكوبية من السفر في الزمان.

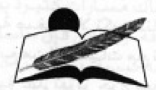
على الرغم من أن حاصل جمع التواريخ يتيح وجود أنشوطات الزمان، إلا أن احتمالات ذلك صغيرة أقصى الصغر. وأنا أقدّر بناء على حجج الثنائية التي ذكرتها فيما سبق أن احتمال أن يستطيع كيب ثورن أن يعود وراء في الزمان ويقتل جده هو احتمال أقل من واحد على عشرة يعقبها أصفار عددها

تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون، أو $١ / ١٠^{١٠^{٦٠}}$

وهذا احتمال صغير نوعا، ولكنك لو نظرت عن كثب إلى صورة لكيب، لربما رأيت بعض تشوش حول الأحرف. وهذا يناظر الاحتمال الضئيل بأن نغلا ما من المستقبل قد أتى عائدا وقتل جده، ومن ثم فإنه في الحقيقة لا وجود له.

لما كنا أنا وكيب رجلين مقامرين، فإننا نراهن على احتمالات كهذه. والمشكلة هي أننا لا نستطيع الآن أن يراهن أحدنا الآخر لأننا نحن الاثنين نقف الآن في الجانب نفسه. ومن الناحية الأخرى فأنا لن أراهن أي واحد آخر. فقد يكون هذا الآخر آتيا من المستقبل ويعرف أن السفر في الزمان أمر يحدث بنجاح.

لعل القارئ يتساءل عما إذا كان هذا الفصل جزءا من تغطية حكومية على السفر في الزمان وربما يكون مصيبا في ذلك.



٦ مستقبلنا... أهو في ستار تريك أم لا؟

«لا أعتقد أن الجنس البشري قد قطع كل هذا الشوط البعيد لمجرد أن يقضي على نفسه»

المؤلف

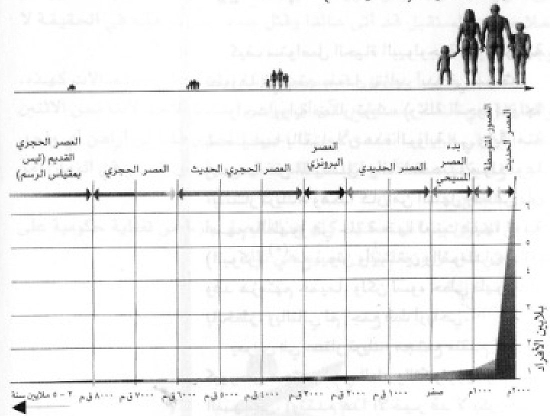
كيف ستواصل الحياة البيولوجية والإلكترونية تطورها في تعقد بمعدل يتزايد أبدا في سرعته؟

راجت رواية «ستار تريك» (رحلة النجوم) رواجا شعبيا بالغا، لأن هذه الرواية هي رؤية آمنة ومريحة عن المستقبل. وأنا شخصيا مولع نوعا «بستار تريك»، وهكذا كان من السهل إقناعي بأن أسهم بالظهور في حلقة منها لعبت فيها لعبة (البوكر) (*) مع نيوتن وأينشتين والقومندان (داتا) وقد هزمتهم جميعا، ولكن لسوء حظي ظهر إنذار بالخطر، وبالتالي لم أجمع قط أرباحي.

يعرض في «ستار تريك» مجتمع متقدم إلى حد كبير عن مجتمعنا في العلم والتكنولوجيا والتنظيم السياسي. (وتقدم هذا الأخير قد لا يكون أمرا صعبا). لابد من أنه كانت هناك تغييرات ضخمة في الفترة ما بيننا وبينهم، وما يصحب ذلك من توترات واضطرابات، على أننا نجد في المرحلة الزمنية التي عرضت علينا أنه فيما يفترض فإن العلم والتكنولوجيا والتنظيم السياسي قد توصلت إلى مستوى يقرب من الكمال.

(*) البوكر نوع من ألعاب المقامرة باستخدام ورق اللعب (الكوتشينة). (المترجم).

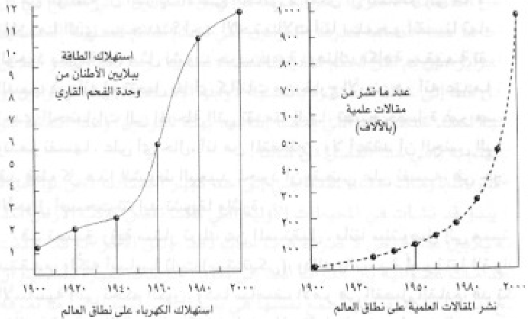
أود أن أعترض على هذه الصورة وأتساءل عما إذا كان سيحدث قط أن نصل إلى حالة نهائية ثابتة بالنسبة للعلم والتكنولوجيا. لم يحدث في أي وقت من فترة العشرة آلاف عام، أو ما يقرب، التي مرت منذ آخر عصر جليدي، إن كان الجنس البشري في حالة من المعرفة المستقرة والتكنولوجيا الثابتة. وقد حدثت نكسات معدودة، مثل العصور المظلمة (*) بعد سقوط الإمبراطورية الرومانية ولكن عدد سكان العالم الذي يعد مقياسا لقدرتنا التكنولوجية على الحفاظ على الحياة وتغذية أنفسنا، ظل يزيد بإطراد فيما عدا فترات تعثر معدودة مثل فترة الموت الأسود «الطاعون» (الشكل ١-٦).



الشكل (٦-١)
النمو السكاني

أصبح النمو السكاني أسّيا في آخر مائتي عام؛ بمعنى أن عدد السكان يتزايد بالنسبة المئوية ذاتها سنويا. ويصل معدل النمو حاليا إلى ما يقرب من ١,٩ في المائة في كل سنة. وقد يبدو أن هذا ليس معدلا كبيرا جدا، إلا أنه يعني أن عدد سكان العالم يتضاعف كل أربعين سنة. (الشكل٢-٦).

(*) كانت هذه العصور مظلمة بالنسبة إلى أوروبا، ولكنها كانت عصور استنارة وحضارة في البلاد العربية والإسلامية التي ما لبث أوروبا أن اقتبست منها مبادئ نهضتها (المترجم).



الشكل (٦-٢)

إلى اليسار: إجمالي استهلاك الطاقة على نطاق العالم مقدرا ببلايين الأطنان من وحدات الفحم القاري (BCU). كل طن من وحدات الفحم القاري يساوي ٨,١٣ ميجاوات. ساعة.
إلى اليمين: عدد المقالات العلمية التي نشرت في كل عام. المحور الرأسي بالآلاف. كان هناك ٩ آلاف مقال منشور في ١٩٠٠، وبوصول عام ١٩٥٠ أصبحت ٩٠ ألفا، وبوصول عام ٢٠٠٠ أصبحت ٩٠٠ ألف.

يعد استهلاك الكهرباء وعدد المقالات العلمية من المقاييس الأخرى للتقدم التكنولوجي في الأزمنة الحديثة. وكلاهما يظهر أيضا زيادة أسّية، بحيث إنهما تضاعفا بعدة أمثال في أقل من أربعين عاما. ولا توجد أي إشارة تدل على أن التقدم العلمي أو التكنولوجي سيبطئ و يتوقف في المستقبل القريب. ولا ريب أن ذلك لن يحدث في عصر ستار تريك، الذي يفترض أنه لن يكون جد بعيد في المستقبل. على أنه لو استمر النمو السكاني وتزايد استهلاك الطاقة الكهربائية بالمعدلات الحالية، فسنجد بحلول ٢٦٠٠ أن سكان العالم يتراصون واقفين كتفا بكتف، وأن استخدام الكهرباء سيجعل الأرض تتوهج احمرارا بزيادة الحرارة.

لو أننا كومنا كل ما ينشر من كتب جديدة أحدها بجوار الآخر، فسيكون على المرء أن يتحرك بسرعة تسعين ميلا في الساعة لمجرد أن يلاحق آخر الصف. طبيعي أنه بحلول ٢٦٠٠ ستأتي الأعمال الفنية والعلمية الجديدة في أشكال إلكترونية، وليس في شكل الكتب وأوراق البحث الحالية. ومع ذلك، لو استمر هذا التزايد الأسي، فستكون هناك عشر أوراق بحث علمي في كل ثانية في مجال عملي بالفيزياء النظرية، ولن يوجد الوقت اللازم لقراءتها.

من الواضح أن التزايد الأسي الحالي لا يمكن أن يستمر إلى ما لانهاية. وإذن، ما الذي سيحدث؟ أحد الاحتمالات أننا سنمحو أنفسنا تماما من الوجود بكارثة ما، مثل نشوب حرب نووية. وهناك فكاهة سقيمة تقول إن السبب في أنه لم تتصل بنا أي كائنات من خارج الأرض هو أنه عندما تصل إحدى الحضارات إلى المرحلة التي تقدمنا إليها، تصبح حضارة غير مستقرة وتدمر نفسها. على أي حال، أنا من المتفائلين. ولا أعتقد أن الجنس البشري قد قطع كل هذا الشوط البعيد لمجرد أن يقضي على نفسه، في حين أن الأحوال أصبحت تتزايد تشويقا وإثارة.

قد تصدق رؤية ستار تريك عن المستقبل. بأننا سنتوصل إلى مستوى متقدم، ولكنه أساسا ثابت (ستاتيكي)، وذلك بالنسبة لمعرفتنا للقوانين الأساسية التي تحكم الكون. وكما سأصف الأمر في الفصل القادم، قد تكون هناك نظرية نهائية سوف نكتشفها في المستقبل في زمن ليس بالبعيد جدا. سوف تحدد هذه النظرية النهائية، إن كان لها وجود، ما إذا كان سيتحقق حلم ستار تريك في السفر بسرعة الانحناء. أما حسب الأفكار الحالية فسيكون علينا أن نستكشف المجرة بأسلوب بطيء مرهق باستخدام سفن فضاء تتحرك بسرعة أبطأ من الضوء، ولكن حيث إننا ليس لدينا بعد نظرية موحدة كاملة، فإننا لا نستطيع أن نستبعد تماما الانتقال بسرعة الانحناء التي تزيد كثيرا على سرعة الضوء.



الشكل (٣-٦)

يعتمد خط سير قصة ستار تريك، على سفينة الفضاء «انتر برايز»، وسفن نجوم مثل تلك التي في الشكل، تكون لها القدرة على السفر بسرعة الانحناء، وهي أسرع كثيرا من الضوء. على أنه إذا كان «حدس حماية التقويم الزمني» صحيحا، سيكون علينا أن نستكشف المجرة باستخدام سفن فضاء ذات دفع صاروخي تسافر بسرعة أبطأ من الضوء.

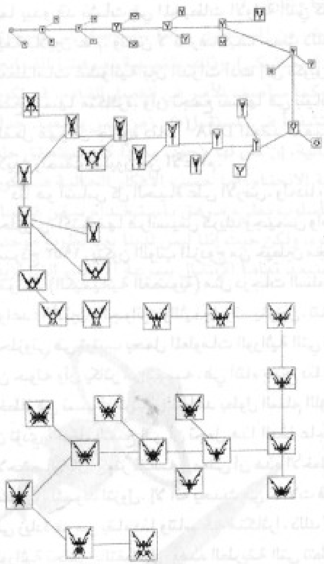
ومن الناحية الأخرى، نحن نعرف من قبل القوانين التي تصلح في كل المواقف ما عدا أقصاها تطرفا: القوانين التي تحكم طاقم السفينة الفضائية «انتر برايز»، إن لم تكن تحكم سفينة الفضاء نفسها. ومع ذلك، يبدو أننا لن نتوصل قط إلى حالة مستقرة بالنسبة لأوجه الاستفادة بهذه القوانين أو بالنسبة لتعقد المنظومات التي يمكننا إنتاجها بهذه القوانين. وهذا التعقد هو ما سيهتم به باقي هذا الفصل من كتابنا.

أكثر المنظومات تعقدا عندنا هي إلى حد كبير أجسادنا نحن. والحياة فيما يبدو قد نشأت في المحيطات الأولية التي كانت تغطي كوكب الأرض منذ أربعة بلايين عام. ونحن لا نعرف كيف حدث ذلك. ولعل الأمر أنه قد حدثت اصطدامات عشوائية بين الذرات أدت إلى تكوين جزيئات كبيرة تستطيع أن تنسخ نفسها متكاثرة، وأن تجمع نفسها في بنيات أكثر تعقدا. أما ما نعرفه بالفعل فهو أن جزيء دنا (*) DNA المعقد تعقيدا بالغا قد انبثق منذ ثلاثة بلايين ونصف البليون من الأعوام.

دنا هو أساس كل الحياة على الأرض. ولـ«دنا» بنية لولب مزدوج مثل السلم الحلزوني، اكتشفها فرانسيس كريك وجيمس واطسن في معمل كافندیش في كمبردج ١٩٥٣. يتكون اللولب المزدوج من خيطين مجدولين يتصلان معا بأزواج من القواعد (الكيميائية العضوية) مثل درجات السلم الحلزوني. يوجد في دنا أربع قواعد: الأدنين والجوانين والثيمين والسيتوزين. تنتظم هذه القواعد بطول السلم الحلزوني في ترتيب يحمل المعلومات الوراثية التي تمكن دنا من تجميع كائن حي من حوله وأن يكاثر من نفسه. في أثناء صنع دنا لنسخ لنفسه تحدث أحيانا أخطاء في نسب أو ترتيب القواعد بطول السلم اللولبي. وينتج في معظم الحالات أن تؤدي أخطاء النسخ إلى أن تجعل هذا الدنا عاجزا عن نسخ نفسه أو تقلل من الاحتمال بأن يكاثر نفسه، بمعنى أن هذه الأخطاء الوراثية، أو الطفرات كما تسمى، ستموت لتزول. إلا أنه يحدث في حالات قليلة أن يؤدي الخطأ أو الطفرة إلى زيادة فرص بقاء دنا وتناسخه متكاثرا. ذلك أن هذه التغيرات في الشفرة الوراثية تحظى بالتفضيل. وهذه الطريقة التي تتطور بها تدريجيا المعلومات التي يحويها تتابع قواعدنا والتي تزيد بها المعلومات تعقدا (الشكل ٤-٦).

(*) دنا مختصرة الحمض النووي دي أوكسي ريبونوكليك وهو المادة الأساسية لما في نواة الخلية من الجينات أو المورثات (المترجم).

حيث إن التطور البيولوجي هو أساسا مسيرة عشوائية في فضاء كل الممكنات الوراثية، فإنه يحدث ببطء شديد. ويكون مدى التعقد، أو عدد بتات (*) bits المعلومات، المشفر في دنا هو تقريبا عدد القواعد التي في الجزيء. ولابد من أن سرعة زيادة التعقد في أول بليوني سنة أو ما يقرب، كانت بمعدل بتة معلومات واحدة لكل مائة سنة. ثم ارتفع تدريجيا معدل تزايد تعقد دنا ليصل إلى ما يقرب من بتة واحدة في سنة عبر الملايين المعدودة الأخيرة من السنين. وعلى أنه حدث منذ حوالي ستة

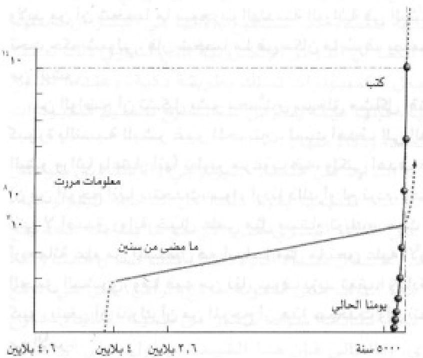


الشكل (٦-٤)
التطور وهو يعمل مفعوله في الشكل «بيومورفات»، ولدها الكمبيوتر متطورة من برنامج صممه عالم البيولوجيا ريتشارد دوكنز. يعتمد استمرار بقاء سلالة معينة على صفات بسيطة مثل أن تكون «مثيرة للاهتمام»، أو «مختلفة» أو مشابهة للحشرة. تبدأ العملية من بكسل (**) واحد، وتتنامى الأجيال المبكرة العشوائية من خلال عملية تشبه الانتخاب الطبيعي. وقد استولد دوكنز شكلا مشابها للحشرات من خلال ٢٩ جيلا رائعة (مع عدد من مسالك مسدودة تطوريا).

(*) البتة أصغر وحدة معلومات يعالجها الكمبيوتر، و bit مختصرة binary digit أو الرقم الثنائي (المترجم).

(**) البيكسل نقطة ضوئية هي أصغر عنصر في الصورة يمكن عرضه على شاشة عرض الكمبيوتر (المترجم).

آلاف أو ثمانية آلاف عام تطور رئيسي جديد. أنشأنا اللغة المكتوبة. ويعني هذا أنه يمكن تمرير المعلومات من جيل إلى الجيل التالي من دون حاجة إلى انتظار تلك العمليات البطيئة جدا للطفرات العشوائية والانتخاب الطبيعي لتشفر المعلومات في تتابعات دنا. وزاد التعقد زيادة هائلة. ومن الممكن أن تحوي نسخة واحدة من رواية رومانسية وذات غلاف ورقي قدرا من المعلومات يماثل مقدار الاختلاف في دنا بين القرود العليا والبشر، كما يمكن لموسوعة من ثلاثين جزءا أن توصّف كل التتابعات في دنا البشري (الشكل ٥-٦).



الشكل (٦-٥)
التنامي والتعقد منذ تكوين الأرض (ليس حسب مقياس الرسم).

بل والأهم من ذلك أنه يمكن أن يتم بسرعة تحديث المعلومات في هذه الكتب. المعدل الحالي الذي يجري به تحديث دنا بالتطور البيولوجي يقرب من بتة واحدة في كل سنة. أما ما ينشر من كتب جديدة فهو مائتا ألف كتاب في كل سنة، بمعدل معلومات جديدة يزيد على مليون بتة في الثانية. ولا ريب في أن معظم هذه المعلومات نفاية، ولكن حتى لو بقيت بتة واحدة في المليون لها فائدتها، فإن هذا لا يزال معدلا أسرع من التطور البيولوجي بمائة ألف مثل.

أدى نقل المعلومات هكذا من خلال وسائل خارجية غير بيولوجية إلى أن يسيطر الجنس البشري على العالم، وأن يتزايد عدد أفراده أسّيا. على أننا الآن على مشارف عصر جديد، سوف نتمكن فيه من زيادة تعقيد سجلنا الداخلي، أي دنا، من دون أن نحتاج إلى انتظار عمليات التطور البيولوجي البطيئة. لم يحدث أي تغير مهم في دنا البشري في آخر عشرة آلاف عام، إلا أن من المرجح أننا سنتمكن من إعادة تصميمه بالكامل في ألف العام القادمة. ولا ريب في أن أفرادا كثيرين سيقولون إنه ينبغي حظر إجراء عمليات الهندسة الوراثية في البشر، إلا أن من المشكوك فيه أننا سنتمكن من منع ذلك. سوف نسمح بالهندسة الوراثية في النبات والحيوان لأسباب اقتصادية، ولابد من أن شخصا ما سيجرب الهندسة الوراثية في البشر. ولم يكن العالم تحت حكم شمولي، فإن شخصا ما في مكان ما سوف يصمم أفرادا محسَّنين من البشر.

من الواضح أن تشكيل بشر محسَّنين سيخلق مشاكل اقتصادية وسياسية كبيرة بالنسبة للبشر غير المحسنين. لست أهدف إلى الدفاع عن هندسة البشر وراثيا باعتبار أنها تطوير مرغوب فيه، ولكني أهدف فحسب إلى القول إن من المرجح أنها ستحدث، سواء أردنا ذلك أو لم نرده. وهذا هو السبب في أنني لا أصدق رواية خيال علمي مثل «ستار تريك»، حيث يكون البشر بعد أربعمائة عام من المستقبل هم أساسا مثل ما نحن عليه الآن. فأنا أعتقد أن الجنس البشري، وما فيه من دنا، سوف يزيد تعقدا زيادة سريعة إلى حد كبير. ينبغي أن ندرك أن من المرجح أن هذا سيحدث وأن ننظر كيف سنتعامل مع الأمر.

يحتاج الجنس البشري، على نحو ما، إلى تحسين خصائصه العقلية والبدنية، حتى يستطيع أن يتعامل مع العالم المحيط به الذي يتزايد تعقدا، وأن يواجه التحديات الجديدة مثل السفر في الفضاء. يحتاج البشر أيضا إلى أن يزيدوا من تعقدهم حتى يمكن للمنظومات البيولوجية أن تبقى متقدمة على المنظومات الإلكترونية. وما يحدث حاليا هو أن أجهزة الكمبيوتر لها ميزة السرعة، ولكنها لا تظهر أي علامة على الذكاء. ولا يثير هذا أي دهشة، لأن أجهزة كمبيوتراتنا الحالية أقل تعقدا من مخ الدودة الأرضية، والأخيرة هي نوع من الكائنات التي لا تشتهر بقدرتها الذكائية.

على أن الكمبيوترات تخضع لما يسمى قانون مور: ذلك أن سرعتها وتعقدها يتضاعفان كل ثمانية عشر شهرا. وهكذا زادت قدرة الكمبيوتر الحاسوبية زيادة أُسية من ١٩٧٢ حتى ٢٠٠٠ بما يصل إلى ثمانية آلاف مثل. ومن المتوقع في تقدير متحفظ أن يصل ذلك في ٢٠٠٧ إلى ما يزيد قليلا على مائة ألف مثل. ومن الواضح أن هذا الأسلوب من النمو الأسي لا يمكن أن يستمر إلى ما لانهاية. على أنه ربما سيستمر حتى يصبح للكمبيوترات التعقد نفسه الذي يميز المخ البشري. يقول بعض الناس إن الكمبيوترات لن يمكن لها أبدا أن تظهر ذكاء حقيقيا، أيا ما يكونه ذلك. على أنه يبدو لي أنه إذا كانت الجزيئات الكيميائية المعقدة جدا تستطيع بأدائها في البشر أن تجعلهم أذكياء، فسنجد أيضا أن الدوائر الإلكترونية التي تساوي ذلك تعقدا ستستطيع أن تجعل الكمبيوترات تسلك بطريقة ذكية. وعندما تصبح الكمبيوترات ذكية، فإنها فيما يفترض ستستطيع تصميم كمبيوترات تكون حتى أكثر تعقدا وذكاء منها.

هل سيظل هذا التزايد في التعقد البيولوجي والإلكتروني يتواصل للأبد، أو أن هناك حدا طبيعيا يقيد ذلك؟ من الناحية البيولوجية، سنجد أن القيد على الذكاء البشري حتى الآن هو ما يفرضه حجم المخ الذي سيمر من خلال قناة الولادة. لما كنت قد راقبت ولادة أطفالي الثلاثة، فأنا أعرف مدى صعوبة خروج الرأس. على أني أتوقع أننا خلال المائة سنة القادمة سوف نتمكن من تنمية الأطفال خارج الجسد البشري، وبالتالي فإن هذا القيد سيزول. على أي حال، سيحدث في النهاية أن يصل تزايد حجم المخ البشري بالهندسة الوراثية إلى مواجهة مشكلة، وهي أن الناقلات الكيميائية للجسم المسؤولة عن نشاطنا العقلي ستتحرك بسرعة بطيئة نسبيا. وهذا يعني أن المزيد من تعقد المخ سيكون على حساب السرعة. سنستطيع إما أن نكون سريعي البديهة، أو أن نكون أذكياء جدا، ولكننا لن نستطيع أن نكون الاثنين معا. ومع ذلك مازلت أعتقد أننا نستطيع أن نصير أذكى كثيرا من معظم الناس في «ستار تريك»، ولا أعتقد أن هذا يكون صعبا.

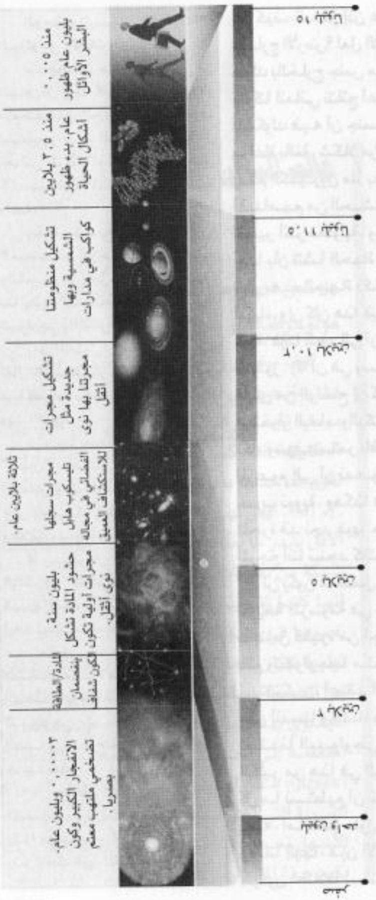
ستؤدي عمليات زرع عصبية إلى تعزيز الذاكرة وإلى توفير تحميلات كاملة من المعلومات، مثل تعلم لغة بأكملها أو محتويات هذا الكتاب خلال دقائق. والبشر الذين يتعزز ذكاؤهم هكذا لن يشبهونا إلا قليلا.

توجد في الدوائر الإلكترونية المشكلة نفسها للتعقد في مواجهة السرعة، كما في المخ البشري. على أن الإشارات في هذه الحالة كهربائية وليست كيميائية، وتنتقل بسرعة الضوء وهي أكبر كثيرا. ومع ذلك فإن سرعة الضوء هي بالفعل قيد عملي على تصميم كمبيوترات أسرع. ويمكننا أن نحسن الموقف بأن نجعل الدوائر أصغر، ولكن سيكون هناك في النهاية حد تفرضه الطبيعة الذرية للمادة. ومع ذلك، لا يزال أمامنا بعض مسافة نقطعها قبل أن نلاقي هذا الحاجز.

هناك طريقة أخرى يمكن أن تزيد بها الدوائر الإلكترونية من تعقدها مع المحافظة على السرعة، وهي أن تقلد المخ البشري. ليس للمخ وحدة معالجة مركزية واحدة. تعالج كل مطلب حسب تسلسل ترتيبه. وبدلا من ذلك توجد للمخ ملايين من وحدات المعالجة تعمل معا في الوقت نفسه. وهذا المنوال من عمليات المعالجة المتوازية بكميات غزيرة سيكون المستقبل أيضا بالنسبة للذكاء الإلكتروني.

إذا افترضنا أننا لم ندمر أنفسنا في مائة العام القادمة، فإن من المرجح أننا سوف ننتشر أولا إلى كواكب المجموعة الشمسية ثم إلى النجوم القريبة. ولكن ذلك لن يكون مثل رحلة «ستار تريك» أو «بابل (٥)»، حيث يوجد في المنظومات النجمية كلها تقريبا جنس جديد من كائنات قريبة من البشر. وقد ظل الجنس البشري في شكله الحالي لمدة مليونين فقط من بين خمسة عشر بليون عام أو ما يقرب مرت منذ الانفجار الكبير.

وإذن حتى لو حدث أن نشأت الحياة في منظومات نجمية أخرى، فإن فرصتنا للتوصل إليها، وهي مرحلة بشرية يمكننا التعرف عليها، ستكون فرصة صغيرة جدا. ومن المرجح أن أي حياة غير أرضية نلاقيها ستكون إلى حد بالغ أكثر بدائية أو أكثر تقدما عنا. وإذا كانت أكثر تقدما، فلماذا إذن لم تنتشر خلال المجرة لتزور الأرض؟ ولو أتت إلينا هنا كائنات من خارج الأرض، لكان ينبغي أن يكون ذلك واضحا: بما يشبه بأكثر فيلم «الاستقلال» أو «إي تي E.T».



الشكل (٦-١٠)
تاريخ موجز للكون. الجنس البشري لم يوجد إلا منذ جزء دقيق من تاريخ الكون. (لو كانت هذه الخريطة حسب مقياس للرسم، ويمثل طول زمن وجود البشر مسافة من ٧ سم، فإن تاريخ الكون كله ستمثله مسافة تزيد على الكيلومتر). إذا لاقينا أي حياة خارج الأرض فمن المرجح أن تكون إما حياة بدائية بدرجة أكثر جدا من حياتنا وإما متقدمة لدرجة أكثر جدا منا.

الوجه البيني inter face البيولوجي، الإلكتروني.

قد يحدث خلال عقدين من السنين أن يوجد كمبيوتر، بألف دولار معقد مثل المخ البشري. وسوف تستطيع وحدات المعالجة المتوازية أن تحاكي طريقة عمل مخنا وتجعل الكمبيوترات تسلك بطرائق ذكية واعية.

ربما ستتيح عمليات الزرع العصبية وجها بينيا للمخ والكمبيوترات يعمل بسرعة أكبر كثيرا بما يذيب المسافة بين الذكاء البيولوجي والإلكتروني.

ومن المحتمل أن معظم معاملات المال والأشغال ستجري بين شخصيات سيبرناتية خلال شبكة ويب العالمية.

بل وربما سيحدث خلال عقد من السنين أن يختار الكثيرون منا أن يعيشوا وجودا افتراضيا virtual على الشبكة ويكونوا أصدقاء وعلاقات سيبرناتية.

لا ريب في أن فهمنا للجينوم البشري سيخلق أوجه تقدم طبية كبيرة، ولكنه سوف يمكننا أيضا من زيادة تعقيد بنية دنا البشري زيادة لها مغزاها. وقد يحدث فيما يلي من مئات معدودة من السنين أن تحل الهندسة الوراثية للبشر مكان التطور البيولوجي، وتعيد تصميم الجنس البشري، وتطرح مشاكل أخلاقية جديدة تماما.

من المحتمل أن يتطلب السفر في الفضاء لما وراء منظومتنا الشمسية بشرا مهندَسين وراثيا أو مجسات بلا بشر يتحكم فيها الكمبيوتر.

كيف نفسر إذن عدم وجود زوار لدينا من خارج الأرض؟ لعل الأمر أنه يمكن أن يكون هناك بالخارج جنس متقدم واع بوجودنا، ولكنه يتركنا لنعاني نتائج أعمالنا البدائية. إلا أن من المشكوك فيه أن جنسا كهذا سيراعي هكذا، مراعاة بالغة، شكلا من الحياة هو أدنى منه: هل يهتم الكثيرون منا بعدد ما يهرسونه تحت أقدامهم من الحشرات ودود الأرض؟ هناك تفسير أكثر معقولية، وهو أن ثمة احتمالا صغيرا جدا بأن تنشأ الحياة على كواكب أخرى أو بأن تطور هذه الحياة ذكاء. ولما كنا نحن نزعم أننا أذكياء، وإن كان هذا فيما يحتمل من غير أسباب قوية، فإننا ننحو إلى أن نرى الذكاء نتيجة حتمية للتطور. إلا أن في وسع المرء أن يشك في ذلك. فليس من الواضح إن كان للذكاء قيمة كبيرة في استمرار البقاء. والبكتريا تجيد البقاء تماما بلا ذكاء وسوف تستمر باقية بعدنا إذا أدى بنا ذكاؤنا المزعوم إلى أن نمحو أنفسنا من الوجود في حرب نووية. وهكذا فإننا عندما نستكشف المجرة قد نجد فيها حياة بدائية، ولكن ليس من المرجح أننا سنجد كائنات تشبهنا.

لن يكون مستقبل العلم كما هو في الصورة المريحة المرسومة في «ستار تريك»: كون مأهول بأجناس كثيرة من أجناس قريبة للبشر، وفيه علم وتكنولوجيا متقدمان وإن كانا أساسا استاتيكيين. أعتقد أننا بدلا من ذلك سنعتمد على أنفسنا وحدنا، ولكننا سنتطور سريعا في تعقدنا البيولوجي والإلكتروني. لن يحدث الكثير من هذا في السنوات المائة التالية، وهذا كل ما نستطيع أن نتنبأ به على نحو يعتمد عليه. أما عند حلول نهاية الألفية التالية، إذا وصلنا إليها، فإن الاختلاف عن «ستار تريك» سيكون اختلافا أساسيا.

7 عالم البران الجديد

هل نحن نعيش على بران أو أننا مجرد صور هولوجرافية؟

كيف ستسير رحلتنا الاستكشافية في المستقبل؟ هل سننجح في طلبنا لأن نتوصل إلى نظرية موحدة تامة هي التي ستحكم الكون وكل ما يحويه؟ الحقيقة أننا، كما ذكرنا في الفصل الثاني، ربما نكون قد حددنا بالفعل نظرية كل شيء بأنها نظرية - إم (M). ليس لهذه النظرية صيغة وحيدة، على الأقل بقدر ما نعرفه. وبدلا من ذلك فقد اكتشفنا شبكة من نظريات تختلف ظاهريا، وإن كان يبدو أنها كلها تقريبات للنظرية الأساسية الأصلية نفسها في حدود مختلفة، هذا يشبه تماما أن نظرية نيوتن للجاذبية هي تقريب لنظرية أينشتين عن النسبية العامة في الحدود التي يكون المجال الجذبوي بها ضعيفا. تشبه نظرية - إم لعبة الصور المقطعة إلى أجزاء لتُجمع بعدها متشابكة (jigsaw): فمن الأسهل كثيرا أن نحدد أجزاء الصورة التي تحيط بحوافها ثم نشبكها معا، ومن الأسهل تحديد وتجميع حدود نظرية - إم حيث يكون هذا المقدار أو الآخر صغيرا. ونحن لدينا

«ماذا يوجد في مركز نظرية - إم؟»

المؤلف

الآن فكرة جيدة، إلى حد كبير، عن هذه الحواف، ولكن ما زالت هناك ثغرة مفتوحة عند المركز من لعبة الصور المقطعة لنظرية - إم، حيث لا ندري ما الذي يجرى (الشكل ٧-١). ونحن لا نستطيع أن نزعم أننا وجدنا حقا نظرية كل شيء إلا بعد أن نملأ هذه الثغرة.

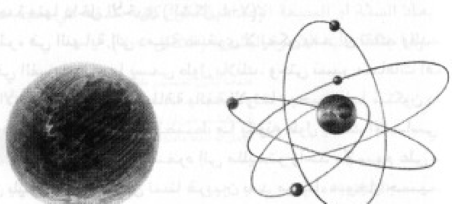


الشكل (٧-١)

نظرية - إم تشبه لعبة الصور المقطعة (jigsaw) من السهل أن تحدد الأجزاء التي حول الحواف لتجمعها معا .ولكننا ليس لدينا فكرة كبيرة عما يحدث في الوسط، حيث لا نستطيع عمل تقريب ليكون هذا المقدار أو الآخر صغيرا.

ماذا يوجد في مركز نظرية - إم؟ هل سنكتشف فيه تنينا (أو ما يشبه ذلك غرابة) مثلما يوجد على الخرائط القديمة للأراضي التي لم يستكشفها أحد؟ تطرح خبرتنا من الماضي أن من المرجح أننا سنجد ظواهر جديدة غير متوقعة كلما وسعنا مدى ملاحظاتنا لتتناول مقاييس أصغر. كنا في بداية القرن العشرين نفهم أعمال الطبيعة بمقاييس الفيزياء الكلاسيكية، التي تصلح ابتداء من المسافات ما بين النجوم نزولا إلى مسافة تقرب من جزء من مائة من المليمتر. تفترض الفيزياء الكلاسيكية أن المادة وسط متصل له خواص مثل المرونة واللزوجة، غير أنه بدأ انبثاق الأدلة على أن المادة ليست ملساء، ولكنها محببة: فهي مصنوعة من لبنات بناء دقيقة اسمها الذرات. وكلمة ذرة (atom) أصلها إغريقي، وتعني ما لا ينقسم، إلا أنه سرعان ما وجدنا أن الذرات تتكون من إلكترونات تدور في مدار حول نواة مصنوعة من البروتونات والنيوترونات (الشكل ٧-٢).

أدت الأبحاث على الفيزياء الذرية في أول ثلاثين سنة من القرن إلى أن نصل بفهمنا إلى النزول لأطوال تبلغ جزءا من المليون من المليمتر، ثم اكتشفنا أن البروتونات والنيوترونات مصنوعة من جسيمات أصغر اسمها الكواركات (الشكل ٧-٣).



الشكل (٧-٢)

إلى اليسار: الذرة الكلاسيكية التي لا تنقسم.

إلى اليمين: ذرة تظهر الإلكترونات وهي تدور حول نواة من بروتونات ونيوترونات.



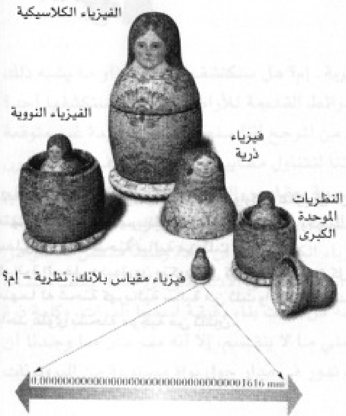
الشكل (٧-٣)

الدائرة الأعلى: بروتون يتكون من كواركين علويين كل منهما له شحنة كهربائية موجبة من ثلثين، وكوارك سفلي واحد له شحنة سالبة من ثلث واحد.

الدائرة السفلى: نيوترون يتكون من كواركين سفليين كل منهما له شحنة كهربائية سالبة من ثلث واحد، وكوارك واحد علوي بشحنة موجبة من ثلثين.

وصلت بنا أبحاثنا الحديثة عن الفيزياء النووية وفيزياء الطاقة العالية إلى مقاييس طولية أقل بعامل أصغر مما سبق بليون مرة. وربما بدا أننا نستطيع مواصلة ذلك إلى الأبد، فنكتشف بنى بمقاييس أصغر واصغر. إلا أن هناك حدا لهذا التسلسل، مثلما يوجد حد للتسلسل لسلسلة الدمى الروسية التي توجد الواحدة منها داخل الأخرى (الشكل ٤-٧).

يصل المرء في النهاية إلى دمية صغرى لا يمكن بعد أن تفك. والدمية الصغرى في الفيزياء هي ما يسمى طول بلانك. وحتى نسبر مسافات أقصر سيتطلب الأمر جسيمات لها طاقة بالغة الارتفاع بحيث إنها ستكون داخل ثقوب سوداء. ونحن لا نعرف بالضبط ما يكونه طول بلانك الأساسي في نظرية - إم، ولكنه قد يصل في صغره إلى ملليمتر واحد مقسوم على مائة ألف بليون بليون بليون. ونحن لسنا قريبين بعد من بناء معجل جسيمات يستطيع أن يسبر مسافات صغيرة هكذا. فسيلزم أن تكون المعجلات من هذا النوع أكبر من المنظومة الشمسية. ولن يكون هناك أي احتمال للموافقة على إنشائه في المناخ المالي الحالي.



الشكل (٤-٧)

تمثل كل دمية فهما نظريا للطبيعة نزولا إلى مقياس طول معين. وتحوي كل دمية واحدة أخرى أصغر منها، وتقابل نظرية تصف الطبيعة بمقاييس أصغر. إلا أن هناك المقياس الأصغر الأساسي في الفيزياء، وهو مقياس بلانك، الذي قد يكون من الممكن عنده وصف الطبيعة بنظرية. إم.

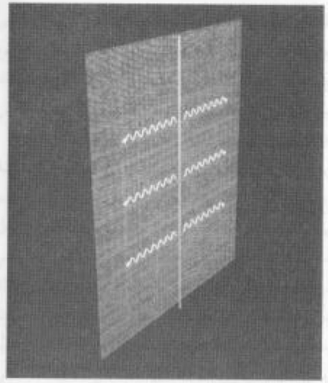
على أنه قد حدث تطور جديد مثير يعني أننا ربما نكتشف على الأقل بعضا من تنبؤات نظرية - إم بطريقة أسهل (وأرخص). كما سبق شرحه في الفصلين الثاني والثالث عن شبكة النماذج الرياضية لنظرية - إم، فإن المكان - الزمان له عشرة أبعاد أو أحد عشر بعدا. وحتى وقت قريب كان يعتقد أن الأبعاد الستة أو السبعة الإضافية تكون كلها ملففة في حجم صغيرة جدا. وأمرها هكذا شبه الشعرة البشرية (الشكل ٥-٧).



الشكل (٥ - ٧)

تبدو الشعرة للعين المجردة كالخط، ويبدو لها بعد واحد هو الطول. وبالمثل فإن المكان. الزمان قد يبدو لنا بأربعة أبعاد، ولكنه سيظهر بعشرة أبعاد أو أحد عشر بعدا لو سبرناه بجسيمات ذات طاقة عالية جدا.

لو نظرنا إلى شعرة تحت عدسة مكبرة، سنستطيع أن نرى لها سمكا، أما بالعين المجردة فإنها تظهر فحسب كخط له طول وليس له أي بعد آخر. ولعل المكان ـ الزمان يشبه ذلك: فحسب مقاييس الطول البشرية، أو الذرية، أو حتى مقاييس طول الفيزياء النووية قد يبدو الزمكان بأربعة أبعاد ويكون تقريبا مسطحا. ومن الناحية الأخرى لو استخدمنا جسيمات لها طاقة عالية أقصى العلو لنسبر مسافات قصيرة جدا، ينبغي عندها أن نرى أن الزمكان له عشرة أبعاد أو أحد عشر بعدا.

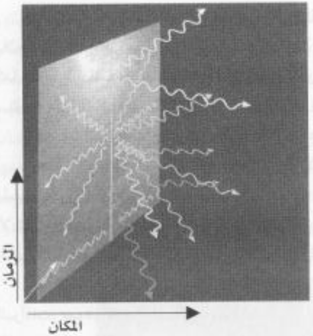


الشكل (٧-٦)
عوالم البران تكون القوة الكهربائية مقصورة على البران، وتنخفض إلى السرعة المناسبة لأن يكون للإلكترونات مدارات مستقرة حول نوي الذرات.

إذا كانت كل الأبعاد الإضافية صغيرة جدا سيكون من الصعب جدا ملاحظتها. على أن هناك طرحا حديثا بأن واحدا أو أكثر من الأبعاد الإضافية قد يكون كبيرا نسبيا أو حتى لا نهائيا. ولهذا الفكرة ميزة كبيرة (على الأقل لمن يكون وضعيا مثلي) وهي أنها قد تكون مما يمكن اختباره بوساطة الجيل التالي من معجلات الجسيمات أو بوساطة قياسات حساسة قصيرة المدى تقيس القوة الجذبوية. والملاحظات من هذا النوع يمكن أن تدحض النظرية أو أن تثبت تجريبيا وجود أبعاد أخرى.

الأبعاد الإضافية الكبيرة تطور جديد مثير في التماسنا للنموذج النهائي أو النظرية النهائية. فهذه الأبعاد تتضمن أننا نعيش في عالم البران، سطح أو بران من أربعة أبعاد في مكان - زمان له أبعاد أكثر.

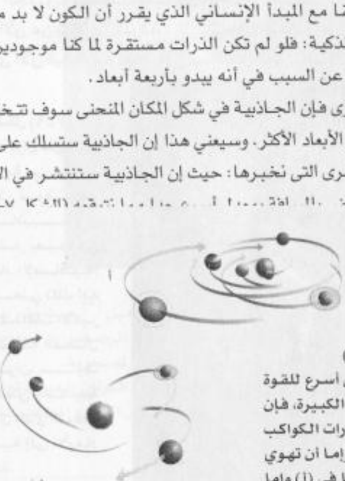
ستكون المادة هي والقوى غير الجذبوية مثل القوة الكهربائية مقصورة على البران. وبالتالي، فإن كل شيء لا يتضمن جاذبية سوف يسلك كما يحدث في أربعة أبعاد. وسنجد بالذات أن القوة الكهربائية بين نواة الذرة والإلكترونات التي تدور من حولها، تتناقص بالمسافة والمعدل الذي يناسب أن تكون الذرات مستقرة بما يمنع سقوط الإلكترونات داخل النواة (الشكل ٦-٧).



الشكل (٧-٧)
سوف تنتشر الجاذبية في الأبعاد الإضافية كما يكون لها أيضا مفعولها بطول البران، وسوف تنخفض حسب مسافات البعد انخفاضا أسرع مما تفعله في الأبعاد الأربعة.

سيكون هذا متفقا مع المبدأ الإنساني الذي يقرر أن الكون لا بد من أن يكون مناسبا للحياة الذكية: فلو لم تكن الذرات مستقرة لما كنا موجودين هنا لنلاحظ الكون ونسأل عن السبب في أنه يبدو بأربعة أبعاد.

ومن الناحية الأخرى فإن الجاذبية في شكل المكان المنحنى سوف تتخلل كل كيان المكان - الزمان ذي الأبعاد الأكثر. وسيعني هذا إن الجاذبية ستسلك على نحو يختلف عن القوى الأخرى التى نخبرها: حيث إن الجاذبية ستنتشر في الأبعاد الإضافية، وإنها ستنخفض [illegible] (الشكل ٧-٧).

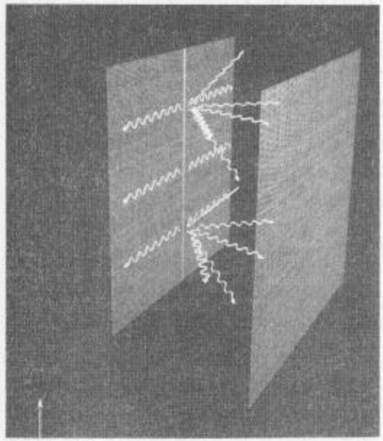


الشكل (٧-٨)
عندما يحدث انخفاض أسرع للقوة الجذبوية عند المسافات الكبيرة، فإن هذا يعني إما أن مدارات الكواكب ستكون غير مستقرة، وإما أن تهوي الكواكب إلى الشمس كما في (أ) وإما أن تفلت تماما من شدها (ب).

لو امتد هذا التناقص الأسرع في القوة الجذبوية إلى مسافات فلكية، للاحظنا تأثيره في مدارات الكواكب. والحقيقة أنها عندما ستكون غير مستقرة كما ذكرنا في الفصل الثالث، فإما أن تهوي الكواكب إلى داخل الشمس وإما أنها ستفلت منها تماما إلى ظلام وبرودة الفضاء ما بين النجوم (الشكل ٨-٧).

ولكن هذا لن يحدث إذا كانت الأبعاد الإضافية تنتهي فوق بران آخر لا يكون بعيدا هذا البعد الشاسع عن البران الذي نعيش عليه. وإذن، فإنه بالنسبة إلى المسافات الأكبر من مسافة انفصال البرانات، لن تكون الجاذبية قادرة على الانتشار بحرية، وإنما تكون بالفعل مقصورة على البران، بما يماثل القوى الكهربائية، وسوف تتناقص بالمعدل الملائم لمدارات الكواكب (الشكل ٩-٧).

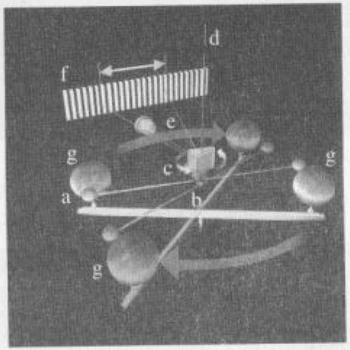
ومن الناحية الأخرى، فإنه بالنسبة إلى المسافات الأقل من مسافات انفصال البرانات، سوف تتغير الجاذبية بسرعة أكبر. أجريت قياسات دقيقة في المعمل للقوة الجذبوية الصغيرة جدا بين الأجرام الثقيلة، إلا أن التجارب لم تكشف حتى الآن عن تأثيرات البرانات التى تفصلها مسافة أقل من ملليمترات معدودة، وتجرى الآن قياسات جديدة على مسافات أقصر (الشكل ١٠-٧).



الأبعاد الإضافية

الشكل (٩ - ٧)
وجود بران ثان على مقربة من عالمنا البراني سوف يمنع الجاذبية من الانتشار بعيدا في الأبعاد الإضافية، وسيعني ذلك أنه عند المسافات الأكبر من مسافة انفصال البران، سوف تنخفض الجاذبية بالمعدل الذي نتوقعه بالنسبة إلى الأبعاد الأربعة.

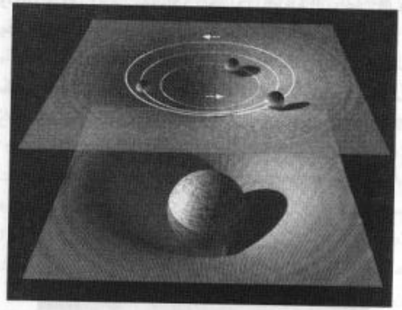
في هذا العالم من البران سنعيش نحن فوق أحد البرانات، إلا أنه سيكون هناك بران «شبحي» آخر على مقربة. وحيث إن الضوء سيكون مقصورا على البرانات ولا ينتشر خلال المسافة بينهما، فإننا لن نتمكن من رؤية العالم الشبح. ولكننا سوف نحس بالتأثير الجذبوي للمادة التي على البران الشبح. وسوف يبدو في البران الخاص بنا أن هذه القوى الجذبوية ناتجة عن مصادر «مظلمة» حقا، حيث إن الطريقة الوحيدة التي يمكن لنا أن نكشف بها عنها هي عن طريق جاذبيتها (الشكل١١-٧). والحقيقة أنه حتى نفسر السرعة التي تدور بها النجوم حول مركز مجرتنا، يبدو أنه لا بد من وجود كتلة بمقدار أكثر مما تسببه المادة التي نرصدها.



الشكل (١٠ - ٧)
تجربة كافنديش يعين شعاع الليزر e أي التواء في الدمبل (*) حيث يتم عرضه على الشاشة المدرجة f. وهناك كرتان صغيرتان من الرصاص a مربوطتان بالدمبل b بمراة صغيرة c وهما معلقتان بليفة لي للتحرك بحرية.
هناك كرتان كبيرتان من الرصاص g موضوعتان قرب الكرتين الصغيرتين فوق قضيب دوار. وعندما تدور كرتا الرصاص الكبيرتان الى الوضع المضاد، يتذبذب الدمبل ثم يستقر في وضع جديد.

(*) الدمبل أصلا جهاز له كرتان حديديتان يربط بينهما قضيب ويستخدم في تدريبات لتقوية العضلات (المترجم).

هذه الكتلة المفتقدة قد تنشأ عن بعض نوع غريب من الجسيمات في عالمنا مثل الويمبات (الجسيمات الثقيلة ضعيفة التفاعل) أو الأكسيونات (جسيمات أولية خفيفة جدا). إلا أن الكتلة المفتقدة قد تكون دليلا أيضا على وجود عالم



الشكل(١١ - ٧)

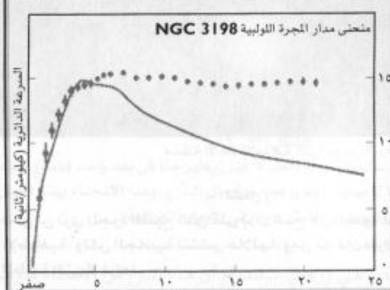
في سيناريو عالم البران قد تدور الكواكب حول كتلة مظلمة على بران شبح لأن القوة الجذبوية تنتشر إلى الأبعاد الإضافية.

طبيعة المادة المظلمة

يعتقد علماء الكونيات الآن أنه بينما تكون الأجزاء المركزية من المجرات اللوبية مكونة إلى حد كبير من نجوم عادية، فإن المناطق الخارجية تسودها المادة المظلمة التي لا نستطيع رؤيتها مباشرة. إلا أن إحدى المشاكل الأساسية هي أن تكتشف طبيعة الشكل السائد من المادة المظلمة في هذه المناطق الخارجية من المجرات. وكان من المعتاد قبل الثمانينات من القرن العشرين أن يفترض أن هذه المادة المظلمة مادة عادية تتكون من بروتونات ونيوترونات والإلكترونات في بعض شكل لا يمكن اكتشافه بسهولة: ربما سحب غاز، أو ما يسمى أجرام ماشو (أجرام ثقيلة مضغوطة توجد عند الهالة)، مثل الأقزام البيضاء، أو نجوم النيوترون أو حتى الثقوب السوداء.

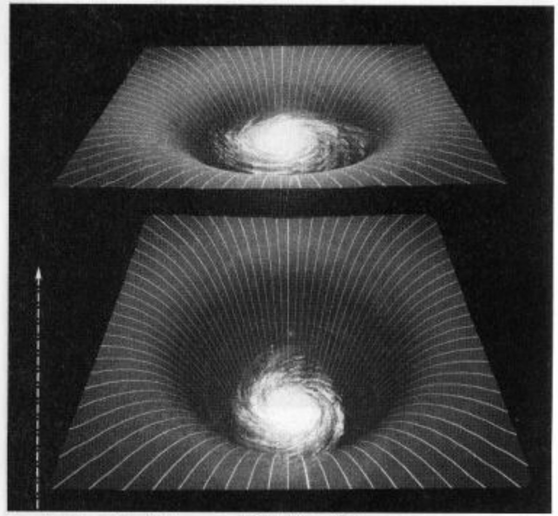
على أن الدراسات الحديثة لتكوين المجرات ادت بعلماء الكونيات إلى الاعتقاد بأن جزءا مهما من المادة المظلمة لا بد من أن يكون في شكل مختلف عن المادة العادية. ولعله ينشأ عن تكتلات من جسيمات أولية خفيفة جدا مثل الأكسيونات أو جسيمات النيوترينو. بل ولعل هذه المادة تتكون حتى من أنواع من الجسيمات أكثر غرابة، مثل الويمبات، أي «الجسيمات الثقيلة الضعيفة التفاعل»، وهي جسيمات تنبأت بها النظريات الحديثة عن الجسيمات الأولية، ولكنها لم تكتشف بعد تجريبيا.





الدليل على وجود مادة مظلمة تطرح الأرصاد الكونية المختلفة طرحا قويا أنه ينبغي أن يكون مقدار المادة في مجرتنا والمجرات الأخرى أكثر كثيرا مما نراه. وأكثر هذه الأرصاد إقناعا هو أن النجوم الموجودة في المناطق الخارجية للمجرات اللولبية، مثل مجرتنا «درب اللبانة»، تدور بسرعة أكبر كثيرا من أن يكون ما يبقيها في مداراتها هو فقط الشد الجذبوي لكل النجوم التي نرصدها (انظر الرسم البياني).

نحن نعرف منذ سبعينيات القرن العشرين أن هنالك تضاربا بين ما يرصد من سرعة دوران النجوم في المناطق الخارجية من المجرات اللولبية (المبينة في الرسم بالنقط). وسرعة المدار التي نتوقعها حسب قوانين نيوتن من توزيع النجوم المرئية في المجرة (الخط المستمر في الرسم) يدل هذا التضارب على أنه ينبغي أن توجد مادة في الأجزاء الخارجية من المجرات اللولبية بكميات أكبر كثيرا.



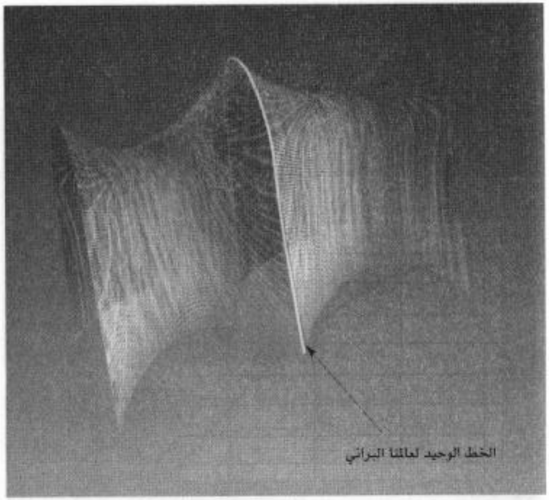
منطقة الأبعاد الإضافية التي تقع بين البرانات ولا تتبع أيا منها

الشكل (١٢ - ٧)

نحن لن نرى المجرة الشبح التى على بران شبح لأن الضوء لن ينتشر خلال الأبعاد الإضافية. ولكن الجاذبية تنتشر خلالها، ومن ثم فإن دوران مجرتنا يتأثر بالمادة المظلمة التى لا نراها.

شبح فيه مادة. ولعله يحوى كائنات بشرية شبحية تتساءل عن تلك الكتلة التى تبدو مفتقدة من عالمهم حتى تفسر مدارات النجوم الشبحية حول مركز المجرة الشبحية (الشكل ١٢-٧).

بدلا من أن تنتهي الأبعاد الإضافية على بران ثان، نجد أن هناك إمكانا آخر لأن تكون هذه الأبعاد لا نهائية ولكنها منحنية انحناء كبيرا مثل السرج (الشكل ١٣-٧).

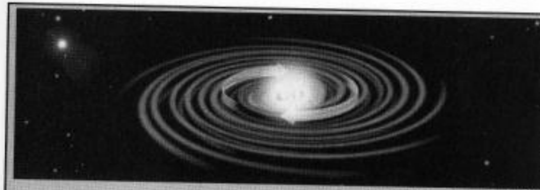


الشكل (١٣ - ٧)

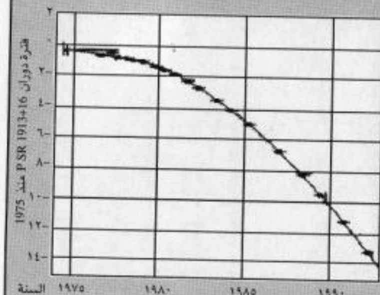
يوجد في نموذج راندال - ساندرام بران واحد لا غير (يظهر هنا في بعد واحد فقط). تمتد الأبعاد الإضافية إلى ما لا نهاية، ولكنها منحنية مثل السرج. وهذا الانحناء يمنع المجال الجذبوى للمادة فوق البران من أن ينتشر بعيدا في الأبعاد الإضافية.

أوضحت ليزا راندل هي وراماں ساندرام أن هذا النوع من الانحناء سوف يسلك بما هو أشبه ببران ثان: فالتأثير الجذبوى في البران من أحد الأجرام سيكون مقصورا على منطقة صغيرة مجاورة للبران، ولا ينتشر خارجا إلى ما لا نهاية في الأبعاد الإضافية.

وكما في نموذج البران الشبح، سيكون للمجال الجذبوى معدل تناقص بالمسافات الطويلة هو المعدل المناسب لتفسير مدارات الكواكب والقياسات المعملية للقوة الجذبوية، ولكن سيكون هناك تغير في الجاذبية بمعدل أسرع عند المسافات القصيرة.



نجما نيوترون مضغوطان يدوران لولبيا أحدهما تجاه الآخر

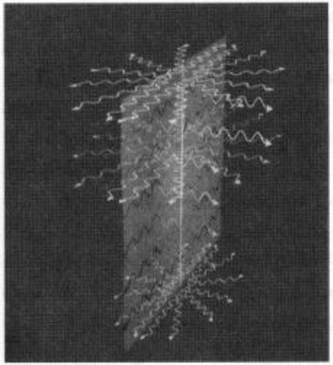


رسم بياني للثنائي
P SR 1975+16
منذ 1975

الثنائيات النابضة

تتنبأ النسبية العامة بأن الأجرام الثقيلة التي تتحرك تحت تأثير الجاذبية تبث موجات جذبوية. والموجات الجذبوية مثلها مثل موجات الضوء، تحمل الطاقة بعيدا عن الأجرام التي تبثها. إلا أن معدل فقدان الطاقة يكون عادة قليلا لأقصى حد، وبالتالي يصعب جدا ملاحظته. وبالمثل فإن بث الأمواج الجذبوية يجعل الأرض تتحرك ببطء حركة لولبية للداخل تجاه الشمس، ولكنهما حتى يصطدما سيستغرق الأمر $١٠^{٢٧}$ سنة أخرى!

على أنه حدث ١٩٧٥أن اكتشف راسل هالس وجوزيف تايلور الثنائي النابض P SR 1913+16. وهذه منظومة تتكون من نجمي نيوترون مضغوطين يدور كل منهما حول الآخر وينفصلان بمسافة تبلغ في أقصاها نصف قطر واحد لا غير للشمس. وحسب النسبية العامة فإن الحركة السريعة تعني أن زمن دورة المنظومة ينبغي أن يتناقص بمقياس زمني اقصر كثيرا وذلك بسبب بث إشارة قوية للموجة الجذبوية. ونجد هنا ان التغير الذي تتنبأ به النسبية العامة يتفق على نحو ممتاز مع الأرصاد الدقيقة التي أجراها هالس وتايلور للمعلمات المدارية التي تدل على أنه منذ ١٩٧٥ تناقص زمن الدورة بأكثر من عشر ثوان. وقد فازا في ١٩٩٣بجائزة نوبل لهذا الإثبات الذي يؤكد النسبية العامة.



الشكل (١٤-٧)
حسب نموذج راندال. ساندرام يمكن لأمواج جذبوية قصيرة أن تحمل الطاقة بعيدا عن مصادرها فوق البران، بما يسبب انتهاكا ظاهريا لقانون بقاء الطاقة.

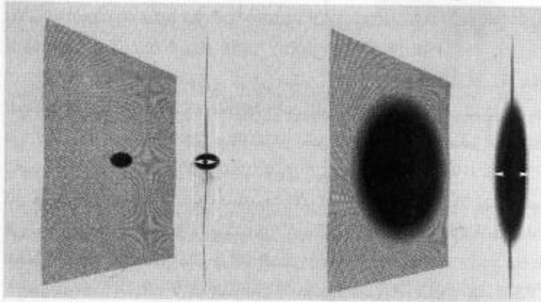
على أن هناك اختلافا مهما بين هذا النموذج لراندال. ساندرام ونموذج البران الشبح. عندما تتحرك الأجسام تحت تأثير الجاذبية تنتج عنها أمواج جذبوية، تموجات للانحناء تنتقل خلال المكان. الزمان بسرعة الضوء. والأمواج الجذبوية، مثلها مثل أمواج الضوء الكهرومغناطيسية، ينبغي أن تحمل طاقة، وهذا تنبؤ أثبتته أرصاد الثنائي النابض PSR 1913+16.

إذا كنا نعيش حقا فوق بران في مكان. زمان له أبعاد إضافية، فإن الموجات الجذبوية التى تتولد بحركة الأجسام على البران سوف تنتقل بعيدا في الأبعاد الأخرى. وإذا كان هناك بران آخر شبح، فسوف تنعكس الموجات الجذبوية مرتدة وتنحبس في مصيدة بين البرانين. ومن الناحية الأخرى، إذا كان هناك بران واحد لا غير واستمرت الأبعاد الإضافية إلى مالا نهاية، كما في نموذج راندال. ساندرام، ستتمكن الموجات الجذبوية من الإفلات تماما لتحمل الطاقة بعيدا عن عالم براننا الشكل (١٤-٧).

سيبدو هذا انتهاكا لأحد القوانين الأساسية للفيزياء: قانون بقاء الطاقة الذي يقرر أن كمية الطاقة الكلية تبقى هي نفسها. على أن ذلك لا يظهر كانتهاك للقانون إلا لأن نظرتنا لما يحدث تقتصر على البران. ما إذا كان من بيننا ملاك يستطيع رؤية الأبعاد الإضافية، فسوف يعرف أن الطاقة تبقى هي نفسها، ولكنها فحسب قد زادت انتشارا للخارج.

عندما يدور نجمان أحدهما حول الآخر ستنتج عنهما أمواج جذبوية يكون طول الموجة منها أطول كثيرا من نصف قطر الانحناء السرجي في الأبعاد الإضافية. وسيعني هذا أنها تنحو إلى أن يقتصر وجودها على منطقة صغيرة تجاور البران عن قرب - مثل القوة الجذبوية - ولن تنتشر كثيرا للخارج في الأبعاد الإضافية أو لن تحمل الكثير من الطاقة بعيدا عن البران. ومن الناحية الأخرى، نجد أن الأمواج الجذبوية التى تكون أطوالها أقصر من مقياس انحناء الأبعاد الإضافية سوف تفلت بسهولة من جوار البران.

من المرجح أن المصادر الوحيدة لأي كميات ذات مغزى من الأمواج الجذبوية القصيرة هي الثقوب السوداء. والثقب الأسود الذي على البران سيمتد إلى ثقب أسود في الأبعاد الإضافية. وإذا كان الثقب الأسود صغيرا، سيكون تقريبا مستديرا، بمعنى أنه سيمتد في الأبعاد الإضافية لما يقرب من حجمه على البران. ومن الجانب الآخر إذا كان الثقب الأسود الذي على البران كبيرا، فإنه سيمتط إلى «فطيرة بانكيك سوداء» تقتصر حدودها على جيرة البران ويكون سمكها (في الأبعاد الإضافية) أقل كثيرا من عرضها(فوق البران) (الشكل ١٥-٧).



الشكل (١٥ - ٧)

الثقب الأسود الموجود في عالمنا فوق البران سيمتد في الأبعاد الإضافية. إذا كان الثقب الأسود صغيرا سيكون تقريبا مستديرا، أما إذا كان الثقب الأسود على البران كبيرا فإنه سيمتط في الأبعاد الإضافية إلى ثقب أسود شكله كفطيرة البانكيك.

تعني نظرية الكم، كما سبق شرحها في الفصل الرابع، أن الثقوب السوداء لا تكون سوداء بالكامل: فهي تبث جسيمات وإشعاعا من كل الأنواع مثل الأجسام الساخنة. وسيكون بث الجسيمات والإشعاع المشابه للضوء بطول البران، لأن المادة والقوى غير الجذبوية مثل الكهرباء تكون مقصورة على البران. على أن الثقوب السوداء تبث أيضا موجات جذبوية. ولن يقتصر وجود هذه الموجات على البران، وإنما ستنتقل كذلك في الأبعاد الإضافية. وإذا كان الثقب الأسود كبيرا ويشبه فطيرة البانكيك، فسوف تبقى الأمواج الجذبوية قريبة من البران، ويعني هذا أن الثقب الأسود سيفقد طاقة (ومن ثم سيفقد كتلة حسب المعادلة (ط = ك س^٢، $E = mc^2$) وذلك بالمعدل الذي نتوقعه لثقب أسود في مكان - زمان من أربعة أبعاد. وبالتالي فإن الثقب الأسود سوف يتبخر ببطء وينكمش حجمه حتى يصبح أصغر من نصف قطر انحناء الأبعاد الإضافية التي تشبه السرج. وسنجد عند هذه النقطة أن الأمواج الجذبوية التي يبثها الثقب الأسود تأخذ في الإفلات بحرية إلى الأبعاد الإضافية. وسيبدو لشخص فوق البران أن الثقب الأسود - أو النجم المظلم كما سماه ميتشيل (انظر الفصل الرابع) - سيبدو وكأنه يبث إشعاعا معتما، إشعاعا لا يمكن ملاحظته مباشرة على البران وإنما يمكن استنتاج وجوده من حقيقة أن الثقب الأسود يفقد من مادته.

سيعني هذا أن التفجر النهائي للإشعاع من الثقب الأسود المتبخر سيبدو أقل شدة مما كانه بالفعل. ومن الممكن أن يكون هذا هو السبب في أننا لم نلحظ تفجرات لأشعة جاما يمكننا أن نعزوها إلى ثقوب سوداء تحتضر، وإن كان هناك تفسير آخر أكثر واقعية، هو أنه لا توجد ثقوب سوداء كثيرة لها كتلة منخفضة انخفاضا يكفى لأن تتبخر في الزمن الذي بلغه عمر الكون حتى الآن.

ينشأ الإشعاع عن الثقوب السوداء في عالم البران نتيجة التراوحات الكمومية للجسيمات على البران وبعيدا عنه، ولكن البرانات، مثلها مثل أي شيء آخر في الكون، تكون عرضة هي نفسها للتراوحات الكمومية. وقد ينتج عن هذه التراوحات أن تظهر البرانات وتختفي تلقائيا. سيكون التخليق الكمومي لأحد البرانات مشابها نوعا لتشكيل فقاعات البخار في ماء يغلي. يتكون الماء السائل من بلايين وبلايين من جزيئات (يد٢ أ) محشودة معا

بالتقارب بين أقرب الجيران. عندما تزيد سخونة الماء تتحرك الجزيئات حركة أسرع وترتطم متباعدة أحدها عن الآخر. أحيانا تضفي هذه الاصطدامات على الجزيئات سرعات بالغة الارتفاع حتى أن مجموعة منها تفلت متحررة من روابطها وتشكل فقاعة صغيرة من البخار يحيط بها الماء. ثم يحدث للفقاعة أن تنمو، أو تنكمش، على نحو عشوائي فتنضم جزيئات أكثر من السائل إلى البخار أو العكس بالعكس. تتقلص معظم الفقاعات الصغيرة من البخار إلى السائل مرة أخرى، إلا أن القليل منها ينمو إلى حجم معين حرج يكون من شبه المؤكد بعدها أن تستمر الفقاعات في نموها. وهذه الفقاعات الكبيرة التي تزداد تمددا هي التي نلاحظها عندما يغلي الماء (الشكل١٦-٧).



الشكل (١٦ - ٧)

تشكيل عالم البران يمكن أن يشابه تشكيل فقاعة بخار في ماء يغلي.

تسلك عوالم البران مسلكا مماثلا. يتيح مبدأ عدم اليقين لعوالم البران أن تظهر كفقاعات من لا شيء، حيث البران يشكل سطح الفقاعة بينما داخلها هو الفضاء ذي الأبعاد الأكثر. ستنحو الفقاعات الصغيرة جدا إلى أن تتقلص ثانية إلى لا شيء. أما الفقاعة التي تنمو بالتراوحات الكمومية إلى حجم يتجاوز حجما معينا حرجا، فسيكون من المرجح أنها ستواصل النمو. الأفراد - من أمثالنا - الذين يعيشون على سطح البران، أو على سطح الفقاعة، سيظنون أن الكون كان يتمدد. ويشبه الأمر أن نرسم المجرات على سطح بالونة ثم ننفخها. سوف تتحرك المجرات متباعدة، ولكن ليس هناك أي مجرة يمكن اختيارها على أنها مركز التمدد. دعنا نأمل ألا يكون هناك أحد لديه دبوس كوني يفرغ به الفقاعة.

حسب فرض اللاحدّية السابق ذكره في الفصل الثالث، سيكون للتخليق التلقائي لأحد عوالم البران تاريخ في الزمان التخيلي يشبه قشرة جوزة: بمعنى أنه سيكون كرة ذات أربعة أبعاد، مثل سطح الأرض ولكن مع بعدين أكثر. الاختلاف المهم هو أن قشرة الجوزة الموصوفة في الفصل الثالث كانت أساسا مجوفة: فلا تكون الكرة ذات الأبعاد الأربعة حدا لأي شيء، وستكون أبعاد المكان - الزمان الأخرى الستة أو السبعة التى تتنبأ بها نظرية - إم كلها ملفوفة إلى ما يكون أصغر حتى من قشرة الجوزة. أما عالم البران الجديد فسنجد في صورته أن قشرة الجوزة مليئة: فالتاريخ في الزمان التخيلي



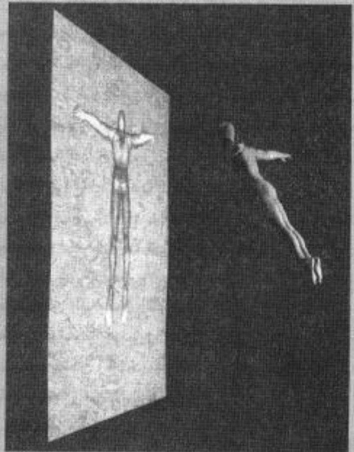
الشكل (١٧ - ٧)

صورة عالم البران عن أصل الكون تختلف عن تلك التي نوقشت في الفصل الثالث، ذلك أن الكرة المسطحة هونا ذات الأبعاد الأربعة، أو قشرة الجوزة، لا تعود بعد مجوفة ولكنها مملوءة ببعد خامس.

للبران الذي نعيش عليه يكون كرة ذات أربعة أبعاد هي الحد لفقاعة من خمسة أبعاد بينما تكون الأبعاد الباقية الخمسة أو الستة ملفوفة لحجم صغير جدا (الشكل ١٧-٧).

تاريخ البران هذا في الزمان التخيلي سيحدد تاريخه في الزمان الواقعي. يتمدد البران في الزمان الواقعي على نحو تضخمي متسارع مثل ما وصفناه في الفصل الثالث. سيكون التاريخ الأكثر احتمالا للفقاعة في الزمان التخيلي هو قشرة جوزة لها نعومة واستدارة بأكمل حال. على أنها ستكون مناظرة لبران يتمدد للأبد بطريقة تضخمية في الزمان التوقعي. لن تتكون مجرات على هذا البران وبالتالي لن تنشأ حياة ذكية. ومن الناحية الأخرى فإن تواريخ الزمان التخيلي التي لا تكون بأكمل حال من النعومة والاستدارة يكون لديها احتمالات أقل نوعا إلا أنها يمكن أن تناظر سلوك زمن واقعي يكون للبران فيه طور من تمدد تضخمي متسارع في أول الأمر ثم يأخذ بعدها في الإبطاء. وربما تتكون المجرات أثناء انخفاض سرعة التمدد كما قد تنشأ الحياة. ومن ثم، فإنه حسب المبدأ الإنساني الذي ذكرناه في الفصل الثالث، سنجد أن قشرات الجوز ذات الشعر القليل هي وحدها التي ستتم ملاحظتها بواسطة كائنات ذكية تسأل عن السبب في أن أصل الكون ليس ناعما إلى حد الكمال.

مع تمدد البران، سيزيد حجم الفضاء ذي الأبعاد الأكثر في الداخل. وسنجد في النهاية فقاعة هائلة يحيط بها البران الذي نعيش عليه. ولكن هل نعيش حقا فوق بران؟ سنجد حسب فكرة الهولوجرافيا الى وصفناها في الفصل الثاني، أن المعلومات عما يحدث في منطقة من المكان ـ الزمان يمكن أن تكون مشفرة فوق حده. وهكذا فربما نظن أننا نعيش في عالم من أربعة أبعاد لأننا ظلال يسقطها على البران ما يحدث من داخل الفقاعة. على أنه من وجهة النظر الوضعية، فإننا لن نستطيع أن نتساءل: أيهما هو الحقيقة، البران أو الفقاعة؟ إنهما كلاهما نماذج رياضية توصف الملاحظات. ونحن لنا الحرية، في أن نختار النموذج الأكثر ملاءمة أيا ما يكون.



الهولوجرافيا

الهولوجرافيا تشفر المعلومات في منطقة من المكان على سطح له أبعاد أقل ببعد واحد. فيما يبدو، فإن هذه خاصية للجاذبية كما يتضح من حقيقة أن منطقة أفق الحدث تقيس عدد الأحوال الداخلية للثقب الأسود. والهولوجرافيا في نموذج عالم البران تكون تناظر الواحد بالواحد بين الأحوال في عالمنا ذي الأبعاد الأربعة وبين الأحوال في الأبعاد الأكثر. ومن وجهة النظر الوضعية لن يستطيع المرء أن يميز أي الأوصاف يكون هو الأساسي بدرجة أكبر.

ما الذي يوجد خارج البران؟ هناك احتمالات عديدة (الشكل ١٨-٧):

١- قد لا يكون هناك أي شئ خارج البران. وعلى الرغم من أن هناك ماء من خارج فقاعة البخار، إلا أن هذا مجرد قياس بالتمثيل ليساعدنا على تصور أصل الكون، ويمكننا أن نتصور نموذجا رياضيا هو مجرد بران داخله فضاء بأبعاد أكثر ولكن لا يوجد خارجه أي شئ مطلقا، ولا حتى فضاء خاو. ونحن نستطيع أن نحسب ما يتنبأ به النموذج الرياضى دون رجوع لما يكون في الخارج.

٢- يمكن أن يكون لدينا نموذج رياضي حيث الفقاعة من الخارج ملتصقة بخارج فقاعة مماثلة. سنجد أن هذا النموذج هو رياضيا يكافئ بالفعل الإمكان الذي ناقشناه أعلاه حيث لا يوجد شيء خارج الفقاعة ولكن الاختلاف نفسي: فالناس يحسون بسعاده أكبر بأن يكون وضعهم في المركز من المكان ـ الزمان وليس على حرفه؛ أما بالنسبة لمن يكون وضعيا، فإن الامكانين الأول والثاني يتماثلان.

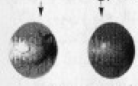
٣- قد تتمدد الفقاعة في فضاء ليس صورة مرآة لما في داخل الفقاعة. ويختلف هذا الإمكان عن السابقين اللذين نوقشا أعلاه ويشبه بدرجة أكبر حالة الماء الذي يغلي. فيكون من الممكن تكوين فقاقيع آخرى وتمددها. إذا اصطدمت الفقاقيع بالفقاعة التي نعيش عليها واندمجت بها، قد تكون النتائج كارثية. بل لقد طُرح أن الانفجار الكبير نفسه ربما يكون قد نتج عن اصطدام بين البرانات.

نماذج عالم البران من مثل هذا النوع يكون منها موضوع مثير للأبحاث. وهى وإن كانت نماذج فيها الكثير من التخمين إلا أنها تطرح أنواعا جديدة من السلوك يمكن اختبارها بالملاحظة. وهى تستطيع أن تفسر السبب في أن الجاذبية تبدو ضعيفة أبلغ الضعف. قد تكون الجاذبية قوية إلى حد كبير في النظرية الأساسية، ولكن انتشار القوة الجذبوية في الأبعاد الإضافية سيعني أنها ستكون ضعيفة على المسافات البعيدة فوق البران الذي نعيش عليه.

الشكل (١٨-٧)



١ - بران/فقاعة بداخله بأبعاد أكثر ولا يوجد شيء خارجه.



٢ - أحد الأمكانات أن يكون البران/الفقاعة من الخارج ملتصقا بخارج فقاعة أخرى.



٣ - يتمدد البران/الفقاعة داخل فضاء لا يكون صورة مرآة لما في داخل الفقاعة. ومن الممكن في هذا السيناريو أن يحدث أن تتكون وتتمدد فقاعات أخرى.

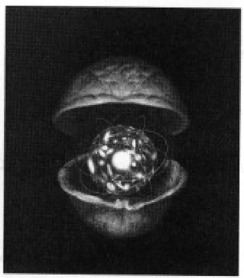
إحدى النتائج التي تترتب على ذلك هي أن طول بلانك، أي أصغر مسافة نستطيع أن نسبرها بدون تخليق لثقب اسود، سيكون أكبر إلى حد كبير تماما مما يظهر عليه مع ضعف الجاذبية فوق براننا ذي الأبعاد الأربعة. على أي حال سنجد أن أصغر الدمى الروسية لن تكون بالغة الضآلة وربما تكون في

مدى ما يمكن أن تتوصل له معجلات الجسيمات في المستقبل. والحقيقة أننا ربما كنا سنكتشف بالفعل أصغر دمية، أو طول بلانك الأساسي لو أن الولايات المتحدة لم تمر بنوبة إحساس بالفقر في ١٩٩٤ أدت إلى إلغاء مشروع المعجل فائق التوصيل والاصطدام (ssc) على الرغم من بناء نصفه. يجري الآن بناء معجلات جسيمات أخرى مثل معجل تصادم الهادرون الكبير LHC في جنيف وربما ستمكننا هذه المعجلات - هي والأرصاد الأخرى مثل إشعاع خلفية الكون الميكروويفي - من أن نحدد ما إذا كنا نعيش أو لا نعيش فوق بران. وإذا كنا نعيش فوق بران، فإن سبب ذلك فيما يفترض هو أن المبدأ الإنساني يتخير نماذج البران من بين الغابة الواسعة للأكوان التى تتيحها نظرية م. إم. ونستطيع تماما أن نعيد صياغة ماقالته ميراندا في رواية (العاصفة) لشكسبير:

«يا لعالم البران الجديد (*)

عالم توجد فيه هذه المخلوقات»

وهذا هو الكون في قشرة جوز.



(*) كلمة بران «brane» الإنجليزية فيها جناس ناقص مع كلمة Brave (شجاع)، وعبارة «عالم شجاع جديد» هي عنوان رواية خيال علمي لهكسلي (المترجم).

معجم المصطلحات

Absolute time

■ الزمان المطلق:

فكرة أنه يمكن أن يكون هناك جهاز لساعة عامة شاملة. بينت نظرية النسبية لأينشتين أنه لا يمكن وجود هذا المفهوم.

Absolute zero

■ الصفر المطلق

أقل درجة حرارة ممكنة لا تحوي المواد عندها طاقة حرارية، وهي حوالى - ٢٧٣ درجة مئوية أو صفر على تدريج كلفن.

Acceleration

■ تسارع ـ عجلة

تغير في سرعة الجسم أو الاتجاه (انظر أيضا Velocity).

Amplitude

■ ذروة

أقصى ارتفاع لقمة الموجة أو أقصى عمق لقرار الموجة.

Anthropic principle

■ المبدأ الإنساني

فكرة أننا نرى الكون على ما هو عليه، لأنه لو كان يختلف عن ذلك أي اختلاف، لن نكون موجودين هنا لنراه.

Antiparticle

■ جسيم مضاد (ضديد)

كل نوع من جسيمات المادة له في مقابله جسيم مضاد. عندما يصطدم جسيم بمضاده فإنهما يبيدان، ولا يتخلف إلا طاقة.

Atom

■ ذرة

الوحدة الأساسية للمادة العادية، وتتكون من نواة دقيقة (تتألف من بروتونات ونيوترونات) تحيط بها إلكترونات تدور من حولها.

Big bang

■ الانفجار الكبير

المفردة التي بدأ بها الكون، منذ ما يقرب من خمسة عشر بليون عام.

Big crunch

■ الانسحاق الكبير

الاسم الذي يطلق على أحد السيناريوهات الممكنة لنهاية الكون، حيث يتقلص كل الفضاء والمادة ليشكلا مفردة.

Black hole

■ الثقب الأسود

منطقة من المكان ـ الزمان (الزمكان) حيث لا يمكن لأي شيء، ولا حتى الضوء، أن يفلت لأن الجاذبية بالغة القوة.

■ إزاحة زرقاء Blue shift

أن يقل طول موجات الإشعاع الذي يبثه أحد الأجرام وهو يتحرك تجاه الراصد، وسبب ذلك هو ظاهرة دوبلر.

■ بوزون Boson

جسيم أو نمط من ذبذبة وتر وله من عدد صحيح.

■ ظروف الحدية Boundary conditions

الحالة الابتدائية لمنظومة فيزيائية، أو بصفة أكثر عمومية، حالة المنظومة عند حد من الزمان أو المكان.

■ بران Brane

شيء يبدو أنه مكون أساسي لنظرية - إم (M)، ويمكن أن يكون له مختلف الأبعاد المكانية. وبوجه عام، يكون للبران - p طول في الاتجاهات p، وبران - ١ هو وتر، وبران - ٢ هو سطح أو غشاء... إلخ.

■ عالم البران Brane world

سطح أو بران بأربعة أبعاد في مكان - زمان بأبعاد أكثر.

■ ظاهرة كاسيمير Casimir effect

الضغط الجاذب بين لوحين معدنيين مسطحين ومتوازيين قد وضعا قريبين جدا أحدهما من الآخر في فراغ، ويرجع الضغط إلى انخفاض في العدد المعتاد للجسيمات الافتراضية في المسافة بين اللوحين.

■ حدس حماية التقويم الزمني Chronology protection conjecture

فكرة أن قوانين الفيزياء تتعاون في خطة تمنع السفر في الزمان بواسطة الأجسام الماكروسكوبية.

■ النظرية الكلاسيكية Classical theory

نظرية تتأسس على مفاهيم أرسيت قبل النسبية وميكانيكا الكم. وهي تفترض أن الأجسام لها مواضع وسرعات معينة بدقة. وهذا لا يصدق عند المقاييس الصغيرة جدا، حسب ما يوضحه مبدأ عدم اليقين لها يزنبرج.

■ وتر مغلق Closed string

نوع من الأوتار في شكل أنشوطة

■ بقاء الطاقة Conservation of energy

القانون العلمي الذي يقرر أن الطاقة (أو ما يكافئها من الكتلة) لا يمكن أن تُستحدث أو تفنى.

■ الوتر الكوني Cosmic string

شيء طويل ثقيل له قطاع عرضي دقيق ربما يُنتج أثناء الأطوار المبكرة من الكون. وفي وقتنا الحالي يمكن أن يتمدد وتر واحد عبر الكون بأكمله.

■ الثابت الكوني Cosmological constant

حيلة رياضية استخدمها أينشتين ليضفي على الكون نزعة للتمدد مبيتة فيه، بما يتيح للنسبية العامة أن تتنبأ بكون ساكن (إستاتيكي).

■ علم الكون Cosmology

دراسة الكون ككل.

■ بعد ملفوف - بعد معقوص Curled - up dimension

بعد مكاني محني لحجم بالغ الصغر بحيث يمكن أن يفلت من الكشف عنه.

■ المادة المظلمة Dark matter

مادة توجد في المجرات، والحشود العنقودية، كما يحتمل أن توجد بين الحشود، ولا يمكن ملاحظتها مباشرة، ولكن يمكن الكشف عنها بمجالها الجذبوي، والمادة المظلمة يبلغ مقدارها ما يصل إلى تسعين في المائة من مادة الكون.

■ دنا DNA

حامض دي أوكسي ريبونيوكليك، ويتكون من فوسفات، وسكر، وأربع قواعد هي: الأدنين والجوانين والثيمين والسيتوزين. ودنا له خيطان مجدولان يشكلان بنية لولب مزدوج يشبه سلما حلزونيا. ويشفر دنا لكل المعلومات التي تحتاج إليها الخلية لتتكاثر، وهو يلعب دورا حيويا في الوراثة.

■ ظاهرة دوبلر Doppler effect

ما يحدث من إزاحة في تردد وطول موجة من الموجات الصوتية أو موجات الضوء التي يدركها الملاحظ إذا كان مصدر الصوت أو الضوء يتحرك بالنسبة إلى هذا الملاحظ.

■ الثنائية Duality

تقابل بين نظريات تختلف ظاهريا وتؤدي إلى نفس النتائج الفيزيائية.

■ الشحنة الكهربائية Electric charge

خاصية للجسيم ينتج عنها أنه يتنافر (أو يتجاذب) مع الجسيمات الأخرى التي لها شحنة بعلامة مماثلة (أو مضادة).

■ القوة الكهرومغناطيسية Electromagnetic force

القوة التي تنشأ بين الجسيمات التي لها شحنة كهربائية بعلامة مماثلة (أو مضادة).

■ الموجة الكهرومغناطيسية — Electromagnetic wave
اضطراب يماثل الموجة في المجال الكهربائي. وتنتقل موجات الطيف الكهرومغناطيسي كلها بسرعة الضوء، ومثال لذلك هناك الضوء المرئي، وأشعة إكس، والميكروويف، وتحت الحمراء... إلخ.

■ الإلكترون — Electron
جسيم بشحنة سالبة يدور حول نواة الذرة.

■ جسيم أولي — Elementary particle
جسيم يعتقد أنه لا يمكن أن ينقسم إلى ما هو أصغر.

■ إنتروبيا — Entropy
قياس للاضطراب في منظومة فيزيائية: عدد التشكلات الميكروسكوبية المختلفة لإحدى المنظومات التي تترك مظهرها الماكروسكوبي بلا تغيير.

■ الأثير — Ether
وسط افتراضي غير مادي أفتُرض ذات مرة أنه يملأ كل الفضاء. والفكرة التي تقول إن هناك حاجة لوسط من هذا النوع لانتشار الإشعاع الكهرومغناطيسي لم تعد بعد صالحة للاحتفاظ بها.

■ الحدث — Event
نقطة في المكان ـ الزمان تتعين بمكانها وزمانها.

■ أفق الحدث — Event horizon
حرف الثقب الأسود: حد المنطقة التي لا يمكن الفرار منها إلى اللانهاية.

■ مبدأ الاستبعاد — Exclusion principle
فكرة أن الجسيمين اللذين يتطابقان في برم ـ هو $\frac{1}{2}$ لا يمكن (في حدود مبدأ عدم اليقين) أن يكون لهما «كلاهما» الموضع نفسه مع السرعة نفسها.

■ الفرميون — Fermion
جسيم أو نمط من ذبذبة وتر ويكون برمه نصف عدد صحيح.

■ مجال — Field
شيء يوجد خلال كل المكان والزمان، وذلك مقابل الجسيم الذي يوجد في كل مرة عند نقطة واحدة فقط.

■ مجال القوة — Force field
الوسيلة التي توصل بها إحدى القوى تأثيرها.

■ فضاء حر — Free space
جزء من فضاء مفرغ يكون حرا تماما من المجالات، بمعنى أن ليس هناك أي قوى تعمل مفعولها فيه.

■ تردد — Frequency
التردد بالنسبة إلى موجة، هو عدد الدورات الكاملة في كل ثانية.

■ النسبية العامة — General Relativity
نظرية أينشتين التي أُسست على فكرة أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة عند كل الملاحظين، بصرف النظر عن طريقة تحركهم. وهي تفسر قوة الجاذبية بلغة من انحناء مكان ـ زمان بأربعة أبعاد.

■ النظرية الموحدة الكبرى — Grand unification theory
نظرية توحّد القوى الكهرومغناطيسية، والقوة القوية، والقوة الضعيفة.

■ أرقام جراسمان — Grassman numbers
فئة من الأرقام ليست تبادلية. في الأرقام العادية الحقيقية، لا يهم ترتيبها عند ضربها: أ × ب = س، و ب × أ = س. أما أرقام جراسمان فهي تتبدل «بالضد»، وبالتالي فإن أ × ب تماثل ـ ب × أ.

■ مجال جذبوي — Gravitational field
الوسيلة التي توصل بها الجاذبية تأثيرها.

■ القوة الجذبوية — Gravitational force
أضعف قوى الطبيعة الأربع الأساسية.

■ موجة جذبوية — Gravitational wave
اضطراب مشابه للموجة في مجال جذبوي.

■ حالة أرضية — Ground state
حالة إحدى المنظومات وهي بأقل طاقة.

■ النظرية الهولوجرافية — Holographic theory
فكرة أن الحالات الكمومية لإحدى المنظومات في منطقة من المكان ـ الزمان قد تكون مشفرة فوق حد هذه المنطقة.

■ رقم تخيلي — Imaginary number
بناء رياضي تجريدي. يمكن اعتبار أن الأرقام الحقيقية والتخيلية تميز مواضع نقاط في أحد المستويات بحيث تكون الأرقام التخيلية بزاوية قائمة على الأرقام العادية الحقيقية.

■ الزمان التخيلي — Imaginary time

الزمان الذي يقاس باستخدام أرقام تخيلية.

■ اللانهائية، ما لانهاية — Infinity

مدى أو رقم بلا حدود أو بلا نهاية.

■ التضخم — Inflation

فترة وجيزة من التمدد المتسارع زاد فيها الكون المبكر جدا من حجمه زيادة لها معامل هائل.

■ الظروف الابتدائية — Initial conditions

حالة إحدى المنظومات الفيزيائية عند بدايتها.

■ نمط التداخل — Interference pattern

نمط الموجة التي تظهر من اندماج موجتين أو أكثر يتم بثهما من مواضع مختلفة أو في أوقات مختلفة.

■ كلفن — Kelvin

مقياس لدرجة الحرارة حيث تُذكر درجات الحرارة منسوبة للصفر المطلق.

■ المخروط الضوئي — Light cone

سطح في الزمان - المكان يحدد الاتجاه الممكن لأشعة ضوء تمر من خلال حدث معين.

■ ثانية ضوئية — Light second

المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية واحدة.

■ سنة ضوئية — Light year

المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة.

■ تقلص لورنتز — Lorentz contraction

انكماش الأجسام المتحركة بطول اتجاه تحركها، كما تتنبأ النسبية الخاصة.

■ ماكروسكوبي — Macroscopic

ما هو كبير بما يكفي لرؤيته بالعين المجردة؛ ونستخدم الكلمة عادة لما يقاس حتى قياس ٠,١ مم. وما يكون مقاسه أقل من هذا الحجم يشار إليه بأنه ميكروسكوبي.

■ مجال مغناطيسي — Magnet field

المجال المسؤول عن القوى المغناطيسية.

■ الكتلة — Mass

كمية المادة في أحد الأجسام؛ قصوره الذاتي أو مقاومته للتسارع في فضاء حر.

■ مجال ماكسويل — Maxwell field

تركيب للكهرباء، والمغناطيسية، والضوء في مجالات ديناميكية يمكن أن يتذبذب ويتحرك خلال المكان.

■ إشعاع الخلفية الميكروويفي — Microwave background radiation

إشعاع من توهج الكون المبكر الساخن؛ وهو الآن قد أزيح إزاحة حمراء بالغة حتى أنه لا يظهر كضوء وإنما يظهر كموجات ميكروويف (موجات راديو طولها سنتيمترات قليلة).

■ قانون مور — Moor's law

قانون يقرر أن قوة الكمبيوترات ستتضاعف كل ثمانية عشر شهرا. ومن الواضح أن هذا أمر لا يمكن أن يستمر إلى ما لا نهاية.

■ نظرية - إم — M - theory

نظرية توحد كل النظريات للأوتار، ومعها أيضا الجاذبية الفائقة، وذلك من خلال إطار نظري واحد، ولكنها ليست مفهومة بعد فهما كاملا.

■ مفردة عارية — Naked singularity

مفردة للمكان - الزمان غير محاطة بثقب أسود، ومرئية للملاحظ البعيد.

■ النيوترينو — Neutrino

نوع من جسيمات بلا شحنة لا تتأثر إلا بالقوة الضعيفة.

■ النيوترون — Neutron

جسيم بلا شحنة، يشبه البروتون كثيرا، وهو يشكل تقريبا نصف الجسيمات في نواة الذرة، ويتكون من ثلاثة كواركات (اثنان سفليان، وواحد علوي).

■ قوانين نيوتن للحركة — Newton's laws of motion

قوانين توصّف حركة الأجسام، وتتأسس على مفهوم المكان الزمان المطلقين، وظلت هي القوانين السائدة حتى اكتشف أينشتين النسبية الخاصة.

■ نظرية نيوتن العامة للجاذبية — Newton's universal theory of gravity

النظرية بأن قوة الجذب بين جسمين تعتمد على الكتلة والمسافة التي تفصل الجسمين؛ وهي تتناسب مع حاصل ضرب كتلتيهما وتتناسب عكسيا مع مربع المسافة.

■ شريط اللاحدية — No boundary condition

فكرة أن الكون متناه ولكن ليس له حد في الزمان التخيلي.

■ الانشطار النووي — Nuclear fission

العملية التي تتفكك بها نواة إلى نواتين أصغر منها أو أكثر، مع انطلاق طاقة.

■ اندماج نووي — Nuclear fusion

العملية التي تصطدم بها نواتان وتنضمان لتكونا نواة أكبر وأثقل.

■ النواة — Nucleus

الجزء المركزي من الذرة، ويتكون فقط من بروتونات ونيوترونات ممسوكة معا بالقوة القوية.

■ الملاحظ — Observer

شخص أو جهاز يقيس الخواص الفيزيائية لإحدى المنظومات.

■ معجل الجسيمات — Particle accelerator Stationary state

ماكينة تستطيع تعجيل جسيمات متحركة مشحونة، فتزيد من طاقتها.

■ بران P. — P - brane

بران له الأبعاد p. انظر أيضا بران Brane.

■ الظاهرة الكهروضوئية (الضوكهربية) — Photoelectric effect

الطريقة التي يحدث بها أن تبث معادن معينة إلكترونات عندما يسقط عليها الضوء.

■ فوتون — Photon

كمة من الضوء؛ أصغر حزمة من المجال الكهرومغناطيسي.

■ طول بلانك — Planck length

ما يقرب من $١٠^{-٣٥}$ سنتيمترا. حجم الوتر النمطي في نظرية الأوتار.

■ زمن بلانك — Planck time

ما يقرب من $١٠^{-٤٣}$ ثانية؛ الوقت الذي يستغرقه الضوء ليقطع مسافة طول بلانك.

■ ثابت بلانك — Planck's constant

حجر الزاوية لمبدأ عدم اليقين. ناتج ضرب عدم اليقين في الموضع والسرعة يجب أن يكون أكبر من ثابت بلانك، ويرمز له بالرمز $\hbar$

■ مبدأ بلانك الكمي — Planck's quantum principle

فكرة أن الموجات الكهرومغناطيسية (مثل الضوء) لا يمكن بثها أو امتصاصها إلا في كمات منفصلة.

■ التناول الوضعي — Positivist approach

فكرة أن النظرية العلمية نموذج رياضي يوصف ويشفر ما نجريه من ملاحظات.

■ البوزيترون — Positron

جسيم مضاد للإلكترون وشحنته موجبة.

■ ثقب أسود بدائي — Primordial black hole

ثقب أسود تخلق في الكون المبكر.

■ بروتون — Proton

جسيم له شحنة موجبة، ومشابه جدا للنيوترون، ويشكل تقريبا نصف كتلة نواة الذرة. وهو مصنوع من ثلاثة كواركات (اثنان علويان وواحد سفلي).

■ كمّة (الجمع: كمات) — Quantum (plural: quanta)

وحدة لا تقبل الانقسام وهي التي يمكن أن تُمتص بها الموجات أو أن تبث بها.

■ الجاذبية الكمية — Quantum gravity

النظرية التي تدمج ميكانيكا الكم مع النسبية العامة.

■ ميكانيكا الكم — Quantum mechanics

القوانين الفيزيائية التي تحكم عالما ما صغيرا جدا، مثل الذرات والبروتونات وما أشبه؛ وقد نشأت عن مبدأ الكم لبلانك ومبدأ عدم اليقين لهايزنبرج.

■ الكوارك — Quark

جسيم أولي مشحون يتأثر بالقوة القوية. تأتي الكواركات في ست «نكهات»: علوي وسفلي، وغريب، وساحر، وقاع، وقمة وتكون كل نكهة في ثلاثة «ألوان»: أحمر، وأخضر، وأزرق.

■ إشعاع — Radiation

الطاقة التي تنقلها الأمواج أو الجسيمات خلال الفضاء أو بعض وسط آخر.

■ نشاط إشعاعي — Radioactivity

الاضمحلال التلقائي لنوع من النوى الذرية إلى نوع آخر.

■ نموذج راندال ـ ساندرام — Randal - Sundrum Model

النظرية التي تقول إننا نعيش فوق بران في فضاء لا نهائي من خمسة أبعاد له انحناء سلبي مثل السرج.

■ إزاحة حمراء — Red shift

احمرار الإشعاع الذي يبثه جسم يتحرك بعيدا عن الملاحظ، وتسببه ظاهرة دوبلر.

■ معادلة شرودنجر — Schrodinger equation

معادلة تحكم تطور الدالة الموجية في نظرية الكم.

■ الحتمية العلمية — Scientific determinism

مفهوم للكون على أنه مثل الساعة من حيث إن المعرفة الكاملة لحالة الكون تمكن من التنبؤ بحالته الكاملة في الأزمنة السابقة أو المستقبلة؛ وقد طرحه لابلاس.

■ القانون الثاني للديناميكا الحرارية — Second law of thermodynamics

القانون الذي يقرر أن الإنتروبيا تتزايد دائما ولا يمكن مطلقا أن تنقص.

■ المفردة — Singularity

نقطة في المكان ـ الزمان حيث يصبح انحناء المكان ـ الزمان لا متناهيا.

■ مبرهنة المفردة — Singularity theorem

مبرهنة تبين أن المفردة، النقطة التي تنهار عندها النسبية العامة، لابد من أن توجد في ظروف معينة؛ وبوجه خاص فإن الكون لابد أنه قد بدأ بمفردة.

■ كسوف الشمس — Solar eclipse

فترة من الظلام تحدث عندما يمر القمر بين الأرض والشمس، وتبقى نمطيا لدقائق قليلة فوق الأرض. وقد ثبتت نظرية النسبية الخاصة بما يتجاوز أي شك عند مشاهدة كسوف للشمس في ١٩١٩ في منطقة من غرب أفريقيا.

■ المكان ـ الزمان (الزمكان) — Spacetime

الفضاء الذي له أربعة أبعاد والذي تكون نقاطه هي الأحداث.

■ البعد المكاني — Spacial dimension

أي من أبعاد المكان ـ الزمان الثلاثة التي هي شبه مكانية.

■ النسبية الخاصة — Special relativity

نظرية أينشتين التي تتأسس على فكرة أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة لكل الملاحظين، بصرف النظر عن طريقة تحركهم، في غياب المجالات الجذبوية.

■ الطيف — Spectrum

تركيبة الترددات التي تصنع إحدى الموجات. والجزء المرئي من ضوء الشمس يمكن رؤيته أحيانا كقوس قزح.

■ البرم — Spin

خاصة داخلية للجسيمات الأولية، لها علاقة بفكرة البرم في الحياة اليومية وإن كانت لا تتطابق معها.

■ النموذج القياسي للكون — Standard model of cosmology

نظرية الانفجار الكبير ومعها فهم للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات

■ النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات — Standard model of particle physics

نظرية موحدة للقوى الثلاث غير الجذبوية ومفعولها في المادة.

■ حالة مستقرة — Stationary state

حالة لا تتغير بالزمان.

■ وتر — String

شيء أساسي له بعد واحد في نظرية الأوتار ويحل مكان مفهوم الجسيمات الأولية التي لا بنية لها. الأنماط المختلفة لذبذبة الوتر تنشأ عنها الجسيمات الأولية بخواصها المختلفة.

■ نظرية الأوتار — String theory

نظرية في الفيزياء حيث توصف الجسيمات كموجات أو أوتار؛ وهي توحد ميكانيكا الكم مع النسبية العامة. وتعرف أيضا بنظرية الأوتار الفائقة.

■ القوة القوية — Strong force

أقوى القوى الأربع الأساسية، وأقصرها في مداها. وهي تبقي الكواركات ممسوكة معا لتشكل البروتونات والنيوترونات وتمسك هذه الجسيمات الأخيرة معا لتشكل نواة الذرة.

■ الجاذبية الفائقة — Super gravity

مجموعة من النظريات توحد النسبية العامة مع السمترية الفائقة

■ السمترية الفائقة — Super symmetry

مبدأ يقيم علاقة بين خواص الجسيمات التي لها برم مختلف.

■ الديناميكا الحرارية — Thermodynamics

دراسة العلاقة بين الطاقة والشغل، والحرارة، والإنتروبيا في منظومة فيزيائية ديناميكية.

■ تمدد الزمن — Time dialtation

ملمح في النسبية الخاصة يتنبأ بأن انسياب الزمن يبطئ بالنسبة إلى ملاحظ يتحرك، أو في وجود مجال جذبوي قوي.

■ أنشوطة زمانية — Time loop

اسم آخر لمنحنى شبه زماني مغلق.

■ مبدأ عدم اليقين — uncertainty principle

المبدأ الذي صاغه هايزنبرج بأننا لا نستطيع مطلقا أن نتأكد بالضبط من موقع أحد الجسيمات هو وسرعته معا، وكلما عرفنا أحدهما بدقة أكثر قلت دقة معرفتنا بالآخر.

■ النظرية الموحدة — Unified theory

نظرية توصف كل القوى الأربع وكل المادة داخل إطار واحد.

■ طاقة الفراغ Vacuum energy

الطاقة الموجودة حتى فيما يبدو أنه فضاء خاو. ولها خاصية غريبة وهي أن وجودها يسبب تسارع تمدد الكون، وذلك بما يختلف مع وجود المادة.

■ السرعة Velocity

رقم يوصف معدل واتجاه حركة أحد الأجسام.

■ جسيم افتراضي، جسيم تقديري Virtual particle

جسيم في ميكانيكا الكم لا يمكن أبدا اكتشافه بطريقة مباشرة، ولكن وجوده له بالفعل تأثيرات يمكن قياسها. انظر أيضا ظاهرة كاسيمير.

■ الدالة الموجية Wave function

مفهوم أساسي في ميكانيكا الكم؛ رقم عند كل نقطة في المكان مصحوب بجسيم، ويحدد احتمال وجود الجسيم في هذا الموضع.

■ ثنائية الموجة / الجسيم Wave / particle duality

مفهوم في ميكانيكا الكم بأنه لا يوجد تمييز بين الموجات والجسيمات؛ فالجسيمات قد تسلك كموجات والعكس بالعكس.

■ طول الموجة Wavelength

المسافة بين قرارين متجاورين أو قمتين متجاورتين لإحدى الموجات.

■ القوة الضعيفة Weak force

ثاني أضعف قوة من القوى الأساسية، ولها مدى قصير جدا. وهي تؤثر في كل جسيمات المادة، ولكن لا تؤثر في الجسيمات الناقلة للقوى.

■ الوزن Weight

القوة التي يمارسها المجال الجذبوي على أحد الأجسام، وهي تتناسب مع كتلته ولكنها لا تتطابق معها.

■ ثقب دودي Wormhole

أنبوبة رفيعة من المكان ـ الزمان تصل بين مناطق بعيدة من الكون. والثقوب الدودية قد تصل أيضا بين أكوان متوازية أو أكوان طفلة، ويمكن أن توفر إمكان السفر في الزمان.

■ نظرية يانج ـ ميلز Yang - Mills theory

امتداد لنظرية ماكسويل للمجال التي توصف التفاعلات بين القوة الضعيفة والقوية.

مزيد من مراجع مقترحة

There are many popular books ranging from the very good, like The Elegant Universe, to the indifferent (which I won't identify). I have therefore restricted my list to authors who have made a significant contribution to the field in order to convey the authentic experience.

I apologize to those I have left out because of my ignorance. A second list, "Getting More Technical," is included for readers who want to pursue more advanced texts.

–Einstein, Albert. The Meaning of Relativity, Fifth Edition. Princeton: Princeton University Press, 1966.

–Feynman, Richard. The Character of Physical Law. Cambridge, Mass: MIT Press, 1967.

–Greene, Brian. The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the outset for the Ultimate Theory.

New York, W.W. Norton & Company, 1999.

–Guth, Alan H. The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins.

New York: Perseus Books Group, 2000.

–Rees, Martin Jr. Our Cosmic Habitat.

Princeton: Princeton University Press, 2001.

–Rees, Martin Jr. Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe.

New York: Basic Books, 2000.

–Thorne, Kip. Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy.

New York: W.W. Norton & Company, 1994.

–Weinberg, Steven. The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe, Second Edition. New York: Basic Books, 1993.

–Getting More Technical:

–Hartle, James. Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity. Reading, Mass.: Addison-Wesley Longman, 2002.

–Linde, Andrei D. Particle Physics and Inflationary Cosmology. Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers, 1990.

–Misner, Charles W., Kip S. Thorne, John A. Wheeler. Gravitation. San Francisco: W. U. Freeman and Company, 1973.

–Peebles, R J. Principles of Physical Cosmology. Princeton, New jersey: Princeton University Press, 1993.

–Polchinski, Joseph. String Theory: An Introduction to the Bosonic String. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

–Wald, Robert M. General Relativity. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

المؤلف في سطور

ستيفن هوكنج

* من أهم المفكرين المعاصرين في الفيزياء النظرية.
* ولد في إنجلترا عام ١٩٤٢.
* في عام ١٩٦٢ أصيب بمرض عصبي خطير أدى إلى شلل كافة عضلات جسمه، إلا أنه عاود العمل والبحث مستعينا بكرسي متحرك وكمبيوتر خاص يستخدمه في الكتابة والحديث.
* يشغل كرسي الأستاذية في الفيزياء النظرية بجامعة كيمبردج، وهو ذاته الكرسي الذي شغله إسحق نيوتن وديراك.
* من أهم بحوثه إثباته أن الكون قد بدأ بمفردة الانفجار الكبير (وهو الرأي الذي عدل عنه فيما بعد)، وكذلك بحوثه عن طبيعة الثقوب السوداء ومحاولاته للتوحيد بين نظرية النسبية ونظرية الكم، للوصول إلى نظرية موحدة تفسر كل شيء.

المترجم في سطور

د. مصطفى إبراهيم فهمي

* حاصل على الدكتوراه في الكيمياء الإكلينيكية، جامعة لندن ١٩٦٩.
* عضو لجنة الثقافة العلمية بالمجلس الأعلى للثقافة بمصر ١٩٩٧.

* حصل على جائزة ترجمة أحسن كتاب في الثقافة العلمية في معرض الكتاب بالقاهرة ١٩٩٥، وجائزة مجلس الثقافة لترجمة كتب الثقافة العلمية، القاهرة ١٩٩٦، وجائزة ترجمة أحسن كتاب في الثقافة العلمية في معرض الكتاب بالكويت ٢٠٠٠.
* رئيس لجنة الثقافة الطبية بالمجلس الأعلى للثقافة بمصر ٢٠٠٣.
* ترجم لسلسلة «عالم المعرفة» خمسة كتب هي: «التنبؤ الوراثي»، العدد ١٣٠ـ اكتوبر ١٩٨٨، و«علم الأحياء والأيديولوجيا والطبيعة البشرية»، العدد ١٤٨ـ أبريل ١٩٩٠، و«النهاية»، العدد ١٩١ـ نوفمبر ١٩٩٤، و«الطب الإمبريالي والمجتمعات المحلية»، العدد ٢٣٦ـ أغسطس ١٩٩٨، و«الجينوم» العدد ٢٧٥ ـ نوفمبر ٢٠٠١.